GOUGEON BROTHERS

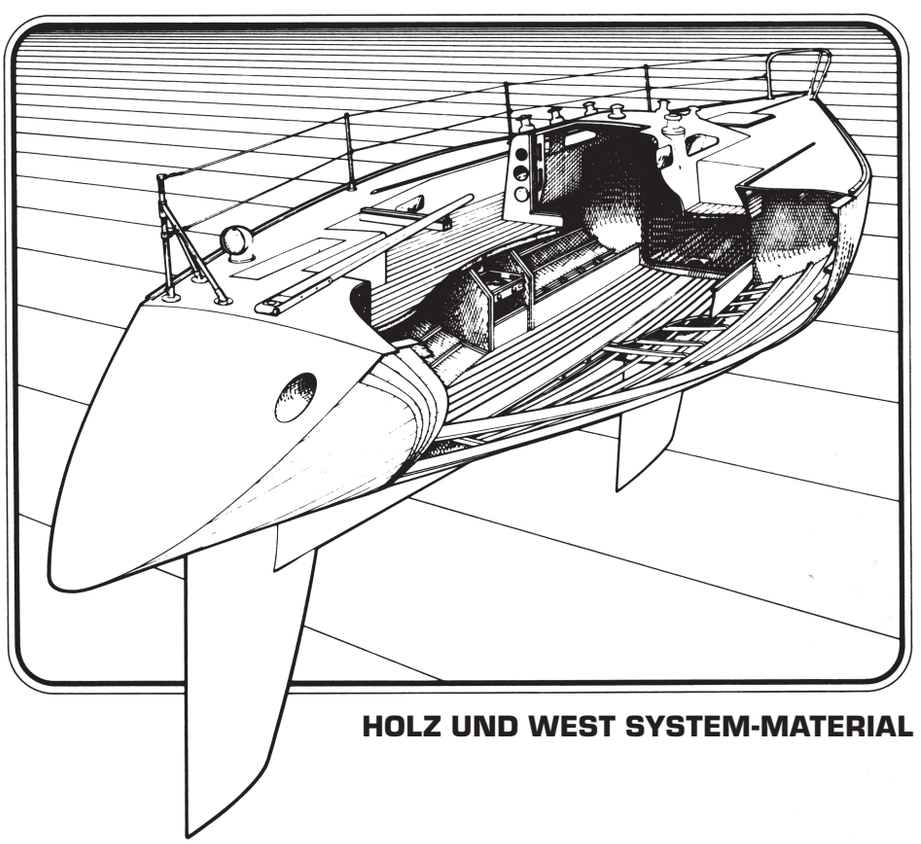
MODERNER HOLZBOOTSBAU

GOUGEON BROTHERS

MODERNER HOLZBOOTSBAU

DEUTSCHE AUSGABE VON

THE GOUGEON BROTHERS ON BOAT CONSTRUCTION



HOLZ UND WEST SYSTEM-MATERIAL

DEUTSCHE ÜBERSETZUNG:
DIPL. ING. FRITZ HARTZ
HELGE VON DER LINDEN

WEST SYSTEM ist der Handelsname der GOUGEON BROTHERS, Inc., Bay City, Michigan, USA.
In der Bundesrepublik Deutschland ist GOUGEON WEST SYSTEM als Warenzeichen Nr. 1032 553 der GOUGEON BROTHERS, Inc., Bay City, Michigan, USA, eingetragen.

Titel der amerikanischen Originalausgabe
THE GOUGEON BROTHERS ON BOAT CONSTRUCTION
Wood and WEST SYSTEM* Materials

Copyright © 1986, 1985, 1982, 1979
Gougeon Brothers, Inc.
P.O.Box X908
Bay City, Miehigan 48707, U.S.A.

Originalausgabe:
ISBN 0-87812-166-8
Library of Congress No. 79-84319

Titelbild: IOR Halbtonner-Rennyacht BOOMERANG (ex HOT FLASH)
Titelentwurf und -zeichnung Michael Barker

WEST SYSTEM, STRESFORM, GOUGEON, und SCARFFER-Ansatz sind eingetragene Markennamen der Firma Gougeon Brothers Inc., U.S.A. Außer zum Zwecke der Buchbesprechnung darf das Buch weder insgesamt noch dürfen Teile davon in irgendeiner Form vervielfältigt oder reproduziert noch auf Datenträger aufgenommen werden, ohne daß eine schriftliche Zustimmung der Firma Gougeon Brothers, Inc. hierzu vorliegt.

Die Techniken und Verfahren, die dieses Buch nennt oder beschreibt, sind aus mehrjähriger praktischer Erfahrung entstanden und haben sich in vielen Anwendungsbereichen bewährt. Da die Gougeon Brothers, Inc. jedoch keine Kontrolle über die Verwendung der Materialien beim Käufer hat, liegt die Verantwortung für die richtige Anwendung ausschließlich beim Benutzer.

Der Anwender der Produkte der Gougeon Brothers, Inc. sollte die jedem Artikel beigefügten Hinweise und Merkblätter in bezug auf Verarbeitung und Gewährleistung sorgfältig zur Kenntnis nehmen.

ISBN 3-926308-00-1

Die Rechte für die deutsche Ausgabe liegen beim
Verlag M.u.H. von der Linden
Werftstraße 12-14
46483 Wesel
Telefon 02 81 / 33 83 00
Fax 0281/26503

5. unveränderte Auflage
Printed in Germany 2004
Druck und Einband: lL. Romen GmbH & Co KG
Satz: Ernst Knoth GmbH, Melle

Inhalt

Vorwort zur deutschen Übersetzung

Vorwort zur vierten Auflage

Vorwort der Übersetzer

1 Einleitung 1

2 Überlegungen vor dem Bau 4

Soll man sein Boot selber bauen? 4

Wie man das richtige Boot findet 6

Bauplane 7

Das Umarbeiten von Bauplänen für WEST SYSTEM Materialien 8

3 Material- und Zeitbedarf 9

Grobe Schätzung 9

Genaue Schätzung – Kosten für Rumpf, Deck, Aufbau 10

Genaue Schätzung – Kosten der Beschläge 13

Genaue Schätzung – Die Arbeitszeit 14

4 Werkzeuge und Werkstatt 17

Aufstellung der Maschinenwerkzeuge der Fa. Gougeon BrotherS 19

Die Bootswerkstatt 23

Ein provisorischer Schuppen – eine der Möglichkeiten 24

5 Holz als Baumaterial 28

Ingenieurmäßiges Denken im Holzbootsbau 28

Die Festigkeit des Holzes 30

Die Steifigkeit des Holzes 33

Holz und Feuchtigkeit 35

Holzfeuchte und mechanische Eigenschaften 36

Holz/Epoxid Komposite 37

Trockenfäule und Schädlingsbefall 39

6 Der Holzkauf 41

Die Holzbestellung 41

Holzqualität – Worauf man achten muß 43

Furnier und Sperrholz 44

Der Kauf von Furnier 44

Der Kauf von Sperrholz 45

7 WEST SYSTEM Produkte 47

8 Die Sicherheit 58

Sicherheit in der Bootswerkstatt – Nähere Erläuterungen 61

Über den Gebrauch von WEST SYSTEM Epoxid 62

Lösungsmittel 63

Holz 65

Eine Bemerkung über Sicherheit 66

9 Lamellieren und Verbinden 68

Grundsätze für das Lamellieren von Holz 68

Die Vorbereitung des Holzes 69

Formen für das Lamellieren 70

Die Verwendung von Kernmaterialien 73

Verbund mittels Spachtelkehlen 77

10 Das Schäften 82
Schäften von Massivholz 82
Schäften von Sperrholzplatten 86
Das Schäften am Boot 90
Schäften als Mittel der Holzersparnis 90

11 Überzug und Endanstrich 92
Allgemeine Hinweise für die Beschichtung 92
WEST SYSTEM Pigmente und andere Zuschlagstoffe 96
FLOCOAT-Verfahren 97
Primer 98
Farben und Lacke 99
Klarlackbeschichtung und Naturlackierung 100
Das Auftragen von Farben und Lacken 101

12 Synthetische Fasern und WEST SYSTEM Epoxid 104
Das Dauerfestigkeitsverhalten synthetischer Fasern 106
Verwendung von Glasseidengewebe 106
Oberflächenvorbereitung für Faserverstärkungen 107
Das Aufbringen des Gewebes 108
Die Anwendung unidirektionaler Graphitfasern 110

13 Der Schnürboden 112
Die Aufmaßtabellen 113
Die Materialien für die Schnürbodenarbeit 114
Das Aufreißen des Netzes 115
Seite Deck 118
Die Deckslinie 120
Der Spantenriß 120
Das Ausstraken der Längslinien 121
Das Aufreißen von Bauteilen für den Rumpf 124
Die Entwicklung eines schrägen, platten Spiegels oder eines Schotts 124
Die Entwicklung eines gekrümmten Spiegels 125
Das Abziehen der Plankenstärke 127
14 MaUspanten und Bauspanten 131
Die Planung der Bauspanten 131
Mallspanten 132
Das Übertragen der Kontur 132
Der Zusammenbau der Mallspanten 136
Eingebaute Rahmen 139
Das Vorbeschichten des Holzes 140

15 Das Aufstellen der Rahmen 142
Der Zentrierdraht 143
Die Fußblöcke 144
Das Aufstellen – Allgemeine Hinweise 145
Das Vernageln und Verschrauben der Stützen 148
Die Verschwertung 148
Das Schmiegen 149
Das Ausstraken 150

16 Kiel, Steven und Balkweger 151
Das Bauteil Kiel/Steven 151
Die Planung von Kiel und Steven 152
Formen zum Lamellieren 154
Der Zusammenbau des Kiel- und Stevenrohlings 155
Der Einbau der Kiel/Steven-Sektion in das Spantgerüst 155

Das Schmiegen von Kiel und Steven für das Beplanken ... 156
Das Kielschwein ... 158
Schwertkästen ... 159
Der Bau des Balkwegers ... 160

17 Lamellierte Rümpfe – eine allgemeine Diskussion ... 162
Lamellierte Rümpfe ... 162
Heißes und kaltes Formverleimen ... 162
Die Positivmodell-Methode ... 164
Die Leistenbauweise ... 164
Die Längsspantenbauweise ... 165
Holz zum Lamellieren ... 167

18 Die Block-Methode: Der Bau des Blocks ... 168
Montage des Blocks ... 168
Beplanken des Blocks ... 169
Befestigung der Leisten an den Mallspanten ... 171
Fertigstellung‘ des Blocks ... 172

19 Die Block-Methode zum Lamellieren von Rümpfen ... 174
Vorbereiten des Holzes ... 174
Setzen und Entfernen der Klammern ... 177
Aufbringen der ersten Furnierlage ... 180
Fügen der Furnierstreifen ... 181
Auftragen von WEST SYSTEM Epoxidharz ... 183
Aufbringen der zweiten Furnierlage ... 185
Mechanisches Anpassen ... 186
Aufbringen der dritten und folgenden Lagen ... 189
Aufbringen der letzten Furnierschicht ... 189
Das abschließende Straken ... 191

20 Die Leistenbauweise zum Lamellieren von Rümpfen und die Leisten-Kompositbauweise ... 194
Helling für die Leistenbauweise ... 194
Holz für den Leistenbau ... 195
Aufbringen der Leistenbeplankung ... 196
Befestigung der Kanten ... 198
Furnierlamellierungen ... 200
Abschließendes Schlichten ... 201
Leisten-Kompositbauweise ... 202
Bau eines Leistenkanus ... 203
Komponenten in der Leisten-Kompositbauweise ... 204

21 Die Längsspantenbauweise zum Lamellieren von Rümpfen ... 206
Einkerbung der Spanten für die Stringer ... 209
Einpassen und Straken der Stringer ... 210
I-Träger-Spanten ... 212
Die erste Lamellierung ... 214
Anbringen der ersten Lage ... 216
Säubern ... 218
Aufbringen der zweiten Lage ... 219

22 Sperrholz-Knickspant-Bauweise ... 221
Montage der Spanten ... 222
Aufstellen ... 223
Zupassen der Planken ... 226
Aufbringen der Platten ... 228
Komposit-Kimmweger-Konstruktion ... 230
Letztes Straken ... 230

23 Bau und Entwurf von verformten Sperrholzrümpfen ... 233
Herstellung der Kielverbindung ... 238
Schotte, Spanten und Decksbalken ... 244
Straken und Endbehandeln ... 246
Entwurfsrichtlinien zum Bau von Modellen ... 248
Bau des Modells ... 250
Glasfasergewebe auf Modellen aus verformtem Sperrholz ... 256

24 Innenausbau ... 257
Einbau von Inneneinrichtung in der Helling ... 258
Innenausbau in Rümpfen, die auf dem Kopf stehen ... 259
Innenausbau in aufrecht stehenden Rümpfen ... 259
Schotts und Trennwände ... 264
Kajütboden ... 265
Bau von Eisboxen ... 267
Tanks ... 268
Fenster und Luken ... 269
Elektrische und Rohrleitungsinstallation ... 270
Endbehandlung des Innenraums ... 271
Streichen und Lackieren von Innenräumen ... 273

25 Bau von Decks ... 275
Abwicklung der Decksbalkenbucht ... 277
Decksversteifungen ... 278
Bau und Montage von Cockpits ... 281
Aufbringen des Decksbelags ... 282
Sandwich-Decks ... 284
Auffütterungen für Beschläge ... 286
Aufbauten ... 288
Decks-Finish ... 289
Verlegen eines Teak-Decks mit Furnierstreifen ... 290

26 Kleben von Beschlägen ... 294
Schubbelastungen und Befestigungselemente ... 297
Verfahren zum Kleben von Befestigungselementen ... 298
Vorbereitung von Metallflächen zum Kleben ... 302
Verfahren zum Kleben von Beschlägen ... 303
Eingießen von Beschlägen ... 305
Verkleben von Ballastkielen mit Holzrümpfen ... 307
Verkleben von Rumpfdurchführungen in Rohrform ... 313

Ausgewählte Literatur ... 314

Anhang A: Holzwerte ... 315

Anhang B: Dauerfestigkeit ... 320

Anhang C: Dimensionierungen von bekannten, mit WEST SYSTEM Produkten gebauten Booten ... 324

Anhang D: Schlagversuch an verstärkten Laminaten ... 326

Index ... 328

Farbfotos

Jedes Jahr werden uns Fotos von Booten zugeschickt, die mit WEST SYSTEM Epoxid gebaut wurden. Am Ende des Buches bringen wir eine repräsentative Auswahl. Bei einigen Bildern fehlen die näheren Angaben. Wir bitten die Eigner um Nachsicht.

1. **Trimaran, modifizierter Norman Cross Entwurf.**
2. **Blick in den umgedrehten Rumpf eines Trimarans, Entwurf Jan Kantola, gebaut bei Califomia Custom Coatings (Foto Bob Perkins).**
3. **ROGUE WAVE, Entwurf Dick Newick, gebaut von Gou•geon Brothers, Inc.**
4. **Sperrholz-Motorboot, Freeport, Bahamas (Foto A. Edwards).**
5. **Großer Kreuzer-Katamaran.**
6. **BAY BEA, Entwurf Britton Chance, gebaut bei Palmer Johnson.**
7. **GOLDEN DAZY, Entwurf Ron Holland, gebaut von Gougeon Brothers, Inc.**
8. **ROGUE WAVE, Entwurf Dick Newick, gebaut von Gougeon Brothers, Inc.**
9. **LOVE, Proa, Entwurf Russell Brown, gebaut von Lewis McGregor.**
10. **Trimaran, Entwurf Jan Kantola, gebaut von Califomia Customs Coatings.**
11. **6,40 m Motorboot, modifizierter John L. Hacker Entwurf, gebaut von Jim Forrest, Ace Speed Boat Co.**
12. **Katamaran, gebaut von Yigal Havkin.**
13. **HOT FLASH, Blick in den Innenraum, Entwurf Gary Mull, gebaut von Gougeon Brothers, Inc.**
14. **Katamaran, Autbringen der Beplankung.**
15. **Stapelhub eines Trimarans.**
16. **ROGUE WAVE, Mittelrumpf, Entwurf Dick Newick, gebaut von Gougeon Brothers, Inc.**
17. **Hochglanzlackierter Katamaran-Rumpf, gebaut von Cecil Ross.**
18. **Überland-Transport eines Katamaran-Rumpfes, Cecil Ross, Erbauer.**
19. **– 36. WHITEHAWK, 28 m lange Luxus-Segelyacht, in verschiedenen Baustadien, Entwurf Bruce King, gebaut von Lee's Boat Shop.**
37. **Leistengeplanktes Kanu von 6 m Länge, gebaut von Herschel Payne.**
38. **PRIME COMPUTERS, 18 Footer (5,5 m langes Renn-Skiff).**
39. **Leistengeplankter Kanu-Trimaran.**
40. **OLLIE, Test zum Selbstaufrichte-Vermögen, Gougeon Brothers, Inc.**
41. **PERFECT DAZY, 9 m Catboot, Holz-Komposit-Profilmast gebaut von Gougeon Brothers, Inc. (Foto J .R. Watson).**
42. **SLINGSHOT, Entwurf Georg Thomas, gebaut von Gougeon Brothers, Inc. (Foto Dave Powlison).**
43. **– 44. OLLIE, 10,70 m Trimaran, Entwurf und Bau Gougeon Brothers, Inc.**
45. **SHARK, Entwurf McAlpine Downey, gebaut von John Rogers.**
46. **– 47. Nachbau eines klassischen Motorboots, Armaturenbrett und Rumpf, modifizierter John L. Hacker Entwurf, gebaut von Morin Mahagony Marine (Foto J.R. Watson).**
48. **ADAGIO, Entwurf und Bau Gougeon Brothers, Inc.**
49. **Pram, Entwurf Frank Davis / GBI, gebaut von Paul Butler.**
50. **STREAKER, 7 Liter Tragflächenboot, Entwurf und Bau John Staudacher (Foto R. Koch).**
51. **– 52. BOILER, Damptboot, gebaut von Califomia Custom Coatings (Foto J.R. Watson).**
53. **Motorboot von 6,4 m Länge, modifizierter John L. Hacker Entwurf, gebaut von Jim Forrest, Ace Speed Boat Co.**
54. **Dory, Sperrholz-Kompositbauweise.**
55. **Leistengeplanktes Angelboot.**
56. **MILLENIUM FACTOR, Strandsegler, Bau Harken Vanguard Inc.**
57. **ROGUE WAVE, Entwurf Dick Newick, Boot und Holz-Kompositmast gebaut von Gougeon Brothers Inc.**
58. **Traditionelles Ruderboot.**
59. **Einer-Kanu, Bau Mentha Wooden Boat Co.**
60. **ATOM, modifizierter Jim Brown Entwurf, gebaut von J.R. Watson.**
61. **Hochsee-Ketsch, HolzIEpoxid Kompositbauweise.**
62. **SPLINTER, Entwurf und Bau Gougeon Brothers Inc.**
63. **Leistengeplanktes Kanu, entworfen und gebaut von Ted Moores (J.R. Watson).**
64. **DN Eisklasse·Yacht (Foto Pam Thomas).**
65. **See-Kajak, gebaut von Richard Hardy.**
66. **ANNA J. LUGIANTONIO, Entwurf Halsey Herreshoff, Profilmast gebaut von Gougeon Brothers, Inc. (Foto Benjamin Mendlowitz).**

Vorwort zur ersten deutschen Ausgabe

Seit 1979/80, als wir mit dem Vertrieb von WEST SYSTEM Epoxidharz zum Bau von Holzbooten in Deutschland begannen, wurden wir von unseren Kunden gedrängt, eine deutsche Ausgabe des Buches THE GOUGEON BROTHERS ON BOAT CONSTRUCTION herauszugeben. Schon allein deshalb, weil es bis dato keine gleichzusetzende Literatur über Holzbootsbau in deutscher Sprache gab.

Nachdem die vierte, vollständig überarbeitete und auf den neuesten Stand gebrachte amerikanische Fassung vorlag, wagten wir uns an die Übersetzung des Buches.

Wir fanden in Dipl.-Ing. Fritz Hartz einen sach- und fachkundigen Bearbeiter und Übersetzer aus dem Amerikanischen, der uns überdies noch bei unserem Vorhaben bestärkte. Wesentlich beteiligt war auch unser Sohn Helge von der Linden, der an der Universität Hamburg Schiffbau studierte. Ihnen danken wir herzlich fiir die gelungene Leistung.

Dank schulden wir ebenso unserem langjährigen Freund und technischen Mitarbeiter Hasko Heisig für die deutschen Beschriftungen der vielen Abbildungen.

Abschließend möchten wir uns an dieser Stelle bei Meade und Jan Gougeon rur unser freundschaftliches Verhältnis, das letztlich erst das Zustande kommen der ersten deutschen Ausgabe ermöglichte, bedanken.

Bei der Überarbeitung des nun vorliegenden Buches wurden wir in unserer Ansicht bestätigt, daß der moderne Holzbootsbau mit WEST SYSTEM Epoxidharz in Zukunft auch in Deutschland einen breiten Raum einnehmen wird.

Wesel am Rhein, im November 1986

Marga und Herbert von der Linden

Wichtiger Hinweis

Da zwischenzeitlich einige Bezeichnungen geändert und zusätzlich neue Produkte in das WEST SYSTEM-Programm aufgenommen wurden, legen wir einen Flyer „35 Jahre Epoxidharztechnologie und Innovation / Einführung in die WEST SYSTEM-Produktreihe“ ein.

Die DM-Preise der alten Ausgaben sind in diesem Buch in € neu berechnet. Es handelt sich um unverbindliche Angaben ohne Mehrwertsteuer.

Der Verlag empfiehlt den Lesern und interessierten Bootsbauern, mit dem WEST SYSTEM-Importeur und -Distributor für Deutschland, Österreich und die Schweiz.

M.u.H. von der Linden GmbH
Postfach 10 05 43
46465 Wesel
Tel. 02 81-33 83 00
Fax 02 81-2 65 03
E-mail service@vonderlinden.de
www.westsystem.de
www.vonderlinden.de

wegen Beratung (**vdL:**Technik) und weiteren Unterlagen und Preislisten (**vdL:**Distribution) Kontakt aufzunehmen.

Wesel am Rhein, im Januar 2004

Vorwort zur vierten Auflage

Gleich von der ersten Auflage an war dieses Buch eine Gemeinschafts-Arbeit. In den Jahren 1978 und 1979 übernahm Meade Gougeon die Verantwortung für das Schreiben des Textes und zog sich dazu in das Schlafzimmer eines Mobilheimes zurück. Rob Monroe, der technischen Rat gab, saß im Wohnraum und zeichnete die Illustrationen. Jan Gougeon, Besitzer dieser Behausung und nächtlicher Bewohner, steuerte enorme Mengen an Wissen und Ratschlägen bei.

Daneben wurden mehrere freie Mitarbeiter zur Unterstützung herangezogen. Kay Harley, Englischlehrerin und engagierte Seglerin, überarbeitete den Text, Lily Jarmin und Loren Mohn nahmen sich der Details für den Druck an. Barbara Livingston las Korrektur und prüfte alles ein zweites Mal.

Für die jetzt vorliegende Ausgabe von *The Gougeon Brothers on Boat Construction* wurde das Team erweitert, allerdings sind mehrere der ersten Mitarbeiter weiterhin beteiligt. Obwohl Meade Gougeon die eigentliche Schreib arbeit abgegeben hat und Rob Monroe inzwischen die Technische Abteilung der Firma Gougeon Brothers Inc. leitet, stehen sie mit Rat zur Verfügung, wenn es sinnvoll ist, und das ist oft der Fall. Die Aufgabe, Material zu sammeln und Verarbeitungs techniken zu beschreiben, wurden den Mitarbeitern von WEST SYSTEM übertragen. Jan Gougeon, J.R. Watson und Randy Koch haben geduldig viele Entwürfe eines jeden Kapitels gelesen. Mike Barker überarbeitete die Zeichnungen, fügte neue hinzu und stellte die Seiten mit Farbfotos zusammen, die Pat Gougeon beschafft hatte. Jim Derck machte sich durch Antworten auf viele Fragen verdient. Diese Arbeit nahm insgesamt etwa ein Jahr in Anspruch, unter freundlichem aber hartnäckigem Druck von Barbara Livingston. Ihre ursprüngliche Aufgabe als Herausgeberin entwickelte sich mehr und mehr zu der des wichtigsten Autors: mit Hilfe des ganzen Gougeon-Teams schrieb sie den größten Teil des überarbeiteten Textes.

Wir möchten allen Mitarbeitern der Firma Gougeon Brothers, Inc. unseren Dank für die große Hilfe aussprechen; das betrifft gleichermaßen Büro, Werkstatt und Technische Abteilung. Kay Harley konnte an dieser Ausgabe nicht mitarbeiten, aber ihre Familie wurde durch Catherine Fahlgren würdig vertreten, die an den Kapiteln über WEST SYSTEM Materialien und Sicherheits-Gesichtspunkte mitarbeitete. Bruce Peasley und Dave Rogers lasen Korrektur, während sich Joe Mayville und Jeff Smithwick wieder bei der Druckerei Pendell Printing um den Druck kümmerten, den leichteren Teil bei der Herausgabe eines Buches.

The Gougeon Brothers on Boat Construction entstand wieder unter starker Anteilnahme der Familien. Wir möchten daher all den Ehefrauen, Ehemännern und Kindern danken, die hier nicht ausdrücklich erwähnt wurden. Viele Ideen sind von unseren Kunden beigesteuert worden und ihnen gilt unser besonderer Dank.

Oktober 1985 Bay City, Michigan

Vorwort der Übersetzer

Einer guten Übersetzung darf man nicht anmerken, daß sie eine Übertragung aus einer anderen Sprache ist. Das ist bei einem Fachbuch nur in Grenzen möglich. Maßangaben, beispielsweise, die in den USA in glatten Zoll-Maßen gegeben werden, ergeben bei uns keine handelsüblichen Millimeter-Maße. Eine Sperrholzplatte von 1/4 Zoll, also mit 6,35 mm Stärke, gibt es bei uns nicht. Gleiches gilt für Bohlen-und Planken-Abmessungen. Solche Maße sind dann der B.edeutung entsprechend auf- oder abgerundet.

Auch eine Übertragung der Holznamen ist nicht immer ohne weiteres möglich. International herrscht bei der Benennung der Hölzer besondere Verwirrung. Als Beispiel mag hier die „Zeder" dienen. Wenn der Rennbootsbauer Zeder verarbeitet, weil dieses Holz so besonders leicht ist, dann meint er in den meisten Fällen *Cedrela,* ein Holz, das auch als *Honduras Z., Tabasco Z., Nicaragua Z.* oder einfach *Zigarrenkisten-Zeder* gehandelt wird. Das ist aber keine Zeder, sondern ein Laubbaum, der eher dem Mahagoni verwandt ist. Die *Western Red Cedar* hingegen müßte richtiger als *Thuja* bezeichnet werden; sie ist der Zypresse verwandt. *White Cedar* ist weder eine Zypresse noch eine Zeder. Und um das Maß der Verwirrung voll zu machen: Die *Afrikanische Zeder* ist ebenfalls ein Laubbaum und heißt richtiger *Bosse.* Auch die botanischen Namen sind für den Praktiker nicht immer hilfreich: Wer würde schon eine Bestellung über *Pseudotsuga taxifolia* aufgeben, wenn er Douglasie meint, die aber besser als *Oregon Pine* oder *Douglas Fir* bekannt ist?

Zur Beruhigung sei gesagt: Die Autoren weisen wiederholt darauf hin, daß Hölzer immer durch andere, gleichwertige ersetzt werden können. Die bei uns angebotene Palette sollte da für jeden Anwendungszweck eine Auswahl gestatten, die auch von den Kosten her vertretbar ist.

Eine sachliche Schwierigkeit gab es bei der Beschreibung der Arbeitsverfahren. Holz ist zwar unser ältestes Material im Bootsbau. Die Verfahren aber, die in diesem Buch beschrieben werden, sind noch so neu, daß sich noch nicht für alle ein einheitlicher Sprachgebrauch herausgebildet hat. Wir kennen aus dem Kunststoff-Bootsbau den Ausdruck einer *laminierten* Außenhaut, also den schichtweisen Aufbau von Verstärkungsfasern mit Harzen. Dieser Begriff wird von den Autoren auch für eine Außenhaut benutzt, die aus Holzfurnieren mit Epoxidharz-Beschichtung und -verklebung besteht. Der bei uns übliche Begriff *formverleimt* paßt hier nicht, denn beim Formverleimen werden die Holzschichten zwar in eine andere Kontur gebracht, aber das Holz gibt weiterhin die mechanischen Eigenschaften vor. Beim Laminieren mit Holzfurnieren und Epoxidharz dagegen entsteht ein neuer Verbund-Werkstoff mit ganz anderen (höheren) Festigkeitswerten. Je nach Anwendungsgebiet und Bedeutung haben also beide Begriffe ihre Berechtigung. Der Ausdruck *Lamellieren* ist im Holzbootsbau eingeführt, aber eben nur in der deutschen Sprache. Man benutzt ihn für Spanten, Stringer und ähnliche Bauteile. Der Übergang zwischen einem *lamellierten* Balkweger und einer *laminierten* oder *formverleimten* Außenhaut ist aber sachlich fließend. Eigentlich ist es das gleiche Verfahren, nur die Schichtstärken des Holzes sind andere. Daher werden Sie in diesem Buch beide Begriffe finden, mitunter für ähnliche Bauteile.

Gerade das ganz neue Verständnis über den „alten" Werkstoff Holz, befreit vom Ballast überkommener, aufwendigerer Bauweisen, macht die richtungweisende Bedeutung dieses Buches aus.

Hamburg, im November 1986

Helge von der Linden

Fritz Hartz

Kapitel 1

Einleitung

Im Jahre 1979, als wir die erste Auflage des Buches *The Gougeon Brothers on Boat Construction* herausbrachten, waren wir drei Brüder, die seit ihrer Kindheit Boote gebaut hatten. Wir betrieben eine Bootswerft und hatten Eisyachten der DN-Klasse, Katamarane der Tornado-Klasse (die Medaillen gewannen), ein paar sehr bekannte Trimarane und sehr schnelle Einrumpf-Rennboote gebaut. Jan hatte bei der Werft SUPERIOR SAILBOATS in Port McNicol in Ontario eine Lehre absolviert, Joel, der fünf Jahre lang Luftwaffen-Pilot gewesen war, hatte sein Ingenieur-Examen im Maschinenbau am GENERAL MOTORS INSTITUTE abgelegt, und Meade war Kaufmann und hatte einige Jahre bei einer großen Firma gearbeitet.

Jetzt, im Jahre 1985, ist die Firma Gougeon Brothers, Inc. ein hochtechnisiertes Unternehmen, das ingenieurmäßig berechnete lammellierte Holzbauteile herstellt. Wir besitzen jetzt ein Labor und Material-Prüfvorrichtungen. Mit Unterstützung der amerikanischen Energiebehörde und der NASA haben wir die erfolgreichsten Flügel für Windturbinen in den USA hergestellt und haben die ersten aussagekräftigen Versuche über das Langzeit-Ermüdungsverhalten von Holz durchgeführt.

Abgesehen von der Tatsache, daß wir die technischen Grundlagen für Kompositbauteile aus Holz/Epoxid geschaffen haben, sind wir bei den Fertigungsverfahren bis an die Grenzen des Möglichen vorgestoßen. Obwohl es etwas gefährlich ist, in Superlativen zu sprechen, sind wir überzeugt, daß unser Probestück einer Finger-Verbindung, das immerhin die Abmessungen 5,25 x 4,25 x 2,45 m hatte, mit 60 einzelnen etwa 300 mm langen Verbindungen, das größte Bauteil dieser Art war, das jemals erfolgreich auf diese Weise hergestellt wurde. Im April 1985 stellten wir einen Rekord beim Bau unseres größten Fertigungsteils auf: In etwas über zwei Stunden laminierte unser Team die 20 m lange Halbschale eines Windturbinen-Flügels für die WESTINGHOUSE CORPORATION. Das Bauteil, das sich von 160 mm auf 12 mm verjüngte, wog etwas mehr als 900 kg. Unsere Fertigungsabteilung hat schon bis zu 100 kleinere Flügel pro Woche hergestellt.

Jan leitet nun in unserem Unternehmen die Abteilung WEST SYSTEM. Er hat dreimal die Weltmeisterschaft in der DN-Eisklasse gewonnen. Im letzten Jahr stellte unsere Werftabteilung den 35 Fuß Trimaran OLLIE fertig, den er entworfen hatte. Joel, der im Unternehmen nicht mehr so aktiv ist wie früher, widmet einen Großteil seiner Zeit kommunalpolitischen Aktivitäten und der Produkt-Forschung. Meade fährt weiterhin Regatten mit seinem 16 Jahre alten Trimaran ADAGIO und leitet die Fertigung der Firma. Er hat die Entwicklung der Windturbinen-Flügel vorangetrieben und widmet sich jetzt neuen Anwendungsgebieten unserer Fertigungsverfahren.

In den vergangenen sechs Jahren, in denen sich unsere Arbeit vom Handwerk zur post-industriellen Fertigung entwickelt hat, haben wir viel gelernt. Wir haben ein technisches Wissen erworben, das wir nicht besaßen, als wir die erste Ausgabe dieses Buches schrieben. In der ersten Auflage wiesen wir darauf hin, daß unsere Verfahren unausgereift seien und einige sich noch im Experimentierstadium befänden, weil noch keine Tests über Langzeitverhalten vorlagen. Diese Ausgabe des Buches spiegelt das Ergebnis dieser Langzeit-Tests wider. Nur wenige unserer Versuche schlugen fehl, und diese wenigen sind inzwischen korrigiert worden. Wir haben unsere Anweisungen so klar gefaßt wie möglich und haben sie doppelt und dreifach auf ihre Gültigkeit hin geprüft.

Zwei Ziele hatten wir im Auge, als wir das Buch schrieben. Zum einen wollten wir den Bootsbau so vereinfachen, daß jeder, der etwas Werkzeug, Holz und WEST SYSTEM Epoxid besitzt, ein gutes, sicheres Boot bauen kann. Zum anderen wollten wir erfahrenen Bootsbauern die Grundlagen an Wissen vermitteln, die sie in die Lage versetzen, zunehmend ausgefeiltere Rümpfe und andere Bauteile herzustellen. Wir glauben, diese Aufgaben erfüllt zu haben.

Viele Boote in Holz/Epoxid-Kompositbauweise, vom kleinen Pram bis zur Hochseeyacht, sind seit 1979 von Anfängern wie auch von Fachleuten gebaut worden. Erwähnt werden sollen davon WHITEHAWK, eine 32 m lange Ketsch, die O. Lie-

Nielson in Maine baute; RED HERRING, eine der vielen Yachten von Eric Goetz; MOXIE, ein 50 Fuß Trimaran, den Dick Newick für den verstorbenen Phil WeId entworfen hat und den Walter Green baute. Diese Yacht gewann 1980 das OSTAR-Rennen. Diese Boote beweisen, welch hohe Fertigkeiten Fachleute bei der Verwendung von WEST SYSTEM Materialien entwickelt haben.

Wir sind weiterhin davon überzeugt, daß unsere Grundeinstellung zum Bootsbau richtig war. Bootsbau und Ingenieurwissen müssen sich ergänzen, weil jeder Fehler ernste Folgen haben kann. Wir meinen, daß der Erbauer eines Bootes – ganz gleich, ob es 3 oder 18 m lang ist – viele ingenieurmäßige Entscheidungen trifft. Um die Schwierigkeiten aber noch zu vergrößern: auch der beste Ingenieur ist bisher nicht in der Lage gewesen, die Beanspruchungen vorherzubestimmen, denen ein Boot einmal ausgesetzt sein wird. Aus diesem Grund spielen Erfahrung und Tradition bei der Entwicklung im Boots-und Schiffbau eine große Rolle: der kluge Bootsbauer geht davon aus, daß etwas, das sich in der Vergangenheit bewährt hat, auch in Zukunft seine Berechtigung behalten wird.

Inzwischen sind genügend Boote nach neuen Verfahren gebaut worden, um eine sichere Grundlage an Wissen zu liefern. Trotzdem ist die Holz/Epoxid-Kompositbauweise noch nicht bis zu einem Punkt ausgereift, in dem man strikte und schnell anwendbare Dimensionierungs-Vorschriften festlegen kann, die für jeden Verwendungszweck ihre Gültigkeit haben. Um diese Lücke zu füllen, stellen wir technische Daten zur Verfügung, die eine Hilfestellung geben, wie wir hoffen. Diese umfassen auch Bauteil-Abmessungen von Booten, die erfolgreich mit WEST SYSTEM Materialien gebaut wurden, außerdem geben wir die Versuchsergebnise aus unserem Labor und anderen Quellen wieder. Wir betrachten Holz und WEST SYSTEM Epoxidharze als Grundmaterialien. Mit diesen zwei Zutaten läßt sich ein Komposit-Material herstellen, das für den Bootsbau wesentliche Vorteile bietet.

Aus der Tradition heraus hat man Holz immer als ein dreidimensionales Material betrachtet. Um ein Boot zu bauen, nahm man Massivhölzer und Planken, brachte sie in die gewünschte Form und verband sie mit Schrauben und Bolzen. Wir gehen an das Holz ganz anders heran: Es besteht aus Fasern, die sich, mit Epoxidharz verbunden, in die vom Boot vorgegebenen Formen bringen lassen. Für uns ist Holz dem GFK insofern verwandt, als wir es als Verstärkungsmaterial nutzen. Im Unterschied zu Glasfasern, die ihre technische Bedeutung erst erlangen, wenn sie in Harz eingebettet sind, ist die Holzfaser für sich genommen bereits ein Material, das eine ausgeprägte Eigenfestigkeit besitzt. Wir haben herausgefunden, daß es seine guten Eigenschaften als Bootsbauwerkstoff sogar noch verbessert, wenn es als Kompositmaterial mit dem richtigen Epoxid zusammen verarbeitet wird.

Dieser Komposit-Werkstoff hat viele praktische Vorteile. Holz/Epoxid-Komposite bieten klare Festigkeitsvorteile. Mit ihnen lassen sich ausgefeilte Bauteile herstellen, wie Windturbinen-Flügel und Trimarane, mit einem hohen Verhältnis Festigkeit/Gewicht. Aus unseren Materialien entstehen Boote, die stark, fest und widerstandsfähig gegen Ermüdung sind -Boote werden heute mit so niedrigen Gewichten gebaut, wie man es vor 10 oder 20 Jahren nicht für möglich gehalten hätte. Hölzerne Kompositboote sind in Regatten äußerst erfolgreich, und wenigstens zum Teil darf man diese Erfolge der Überlegenheit des Materials und der Bauweise zuschreiben. In einer Zeit, in der Materialversagen bei Extrembauten aus anderen Werkstoffen zu einem großen Problem geworden sind, bieten Holz-Komposite die Sicherheit und Flexibilität hoher Festigkeit über viele Jahre.

Der Feuchtigkeitsgehalt eines Holz-Epoxid-Komposits ist stabil, so daß viele Probleme, die dem Holzboot eigen sind – wie Bruch in den Verbindungen oder Oberflächen-Verfärbungen – kaum noch auftreten können oder ganz der Vergangenheit angehören. Weil der Untergrund stabil ist, kann auch der Anstrich nicht mehr so leicht abblättern. Verbindungen mit Harz lassen sich so fest herstellen wie das Holz selbst.

Von vielen Bootsbauern unterscheiden wir uns in einem Hauptpunkt: Wir haben Konstruktion und Bau hölzerner Flugzeuge sehr genau studiert, besonders aus der Zeit des Zweiten Weltkrieges. Flugzeuge aus Holz wurden aus dem Holzbootsbau heraus entwickelt, und sie waren fortschrittlich, weil sie geleimte Verbindungen und Winkelverbindungen anstelle von Befestigungselementen aus Metall benutzten. Wir haben den Kreis geschlossen, indem wir Flugzeug-Technologie wieder in den Bootsbau eingeführt haben. Folglich sehen manche unserer Bauteile, wie z.B. Schotte, denen eines Flugzeugs ähnlicher als denen eines konventionellen Bootes. Eine der wertvollsten und aufschlußreichsten Reisen, die wir seit der ersten Veröffentlichung unseres Buches unternommen haben, war die zu Howard Hughes‘ legendärem Flugboot SPRUCE GOOSE.

Dieses Buch empfiehlt die Benutzung von WEST SYSTEM Harzen für die Herstellung aller Bauteile. Auf den ersten Blick mag das wie Eigenwerbung

ausehen. Der wahre Grund liegt aber darin, daß unsere Hinweise wenig Wert hätten, wenn die Kleber und Versiegelungsharze, die das Kernstück unseres Bootsbauverfahrens sind, nicht in allen Einzelheiten diskutiert würden. Unsere Techniken beziehen sich auf die bestimmbaren mechanischen Eigenschaften von Epoxid und Füllstoffen.

In den Jahren, in denen wir mit diesen Materialien arbeiten, haben wir eine sehr genaue Kenntnis über ihre Eigenschaften erlangt und darüber, wie sie sich im Zusammenspiel mit Holz verhalten. WEST SYSTEM Materialien haben zwei Eigenschaften, die für den Erfolg unabdingbar sind. Einmal sind es die mechanischen Werte und die Widerstandfähigkeit gegen Umwelteinflüsse. Zum anderen ist es die Vielseitigkeit der Materialien, die Möglichkeit, sie für viele unterschiedliche Anwendungen unter verschiedenen Umgebungsbedingungen nutzbar zu machen. Man braucht Zeit, um diese Eigenschaften des Materials zu entwickeln. Die Verbesserung der Produkte selbst und ihrer Anwendung sind über die Jahre Schlüsselfaktoren in der Entwicklung der Komposit-Bauverfahren geworden. Zweifellos wird die Entwicklung auch in Zukunft fortschreiten.

Die neue, überarbeitete Ausgabe des Buches *The Gougeon Brothers on Boat Construction* folgt in seinem Aufbau den vorherigen Ausgaben. Wir fangen mit den Überlegungen an, die dem Bootsbau vorausgehen sollten. Der zweite Teil ist den WEST SYSTEM Materialien und Verarbeitungsverfahren gewidmet, die für fast alle Boote gleich sind – Kleben und Lamellieren, Schäften, Beschichten und Lackieren. Dazu kommen Sicherheitsaspekte zur Sprache. Als Nächstes beschreiben wir die Schnürbodenarbeit und das Aufstellen von Mallen; Schritte, die normalerweise vor Beginn des Rumpfbaus notwendig sind. Dann folgen Kapitel, die sich mit der eigentlichen Herstellung formverleimter Rümpfe beschäftigen, zusätzlich werden nicht-Iamellierte Rümpfe behandelt sowie Techniken für Rümpfe aus verformten Platten – früher ein radikal neues Bauverfahren. Dann folgen die Befestigung der Beschläge und die Inneneinrichtung. Wir beschränken uns auf das eigentliche Boot. Elektrische Installation, Rohrleitungen, Motoreinbau und das Rigg werden nicht abgehandelt, aber darüber gibt es ausgezeichnete andere Veröffentlichungen.

Wir glauben, daß es für einen Bootsbauer, der sich mit Holz/Harz-Kompositbau beschäftigen will, sehr wichtig ist, ein Verständnis für die Materialien und ein Gefühl für die Arbeit mit ihnen zu entwikkeln. Wir empfehlen nachdrücklich, einfache Versuche durchzuführen, parallel zur eigentlichen Arbeit.

Wenn man die Materialien kennt, sind die Lösungen besser und man entwickelt die für den eigenen Zweck besten Arbeitsverfahren. Bei der Überarbeitung des Buches haben wir festgestellt, daß es für einige Arbeiten sehr unterschiedliche Wege zum Erfolg gibt. Wir empfehlen, kreativ zu sein und die eigenen Fertigkeiten zu entwickeln. Wenn Sie unsere Verfahren kennengelernt haben, wird vielleicht der Wunsch auftauchen, eigene zu entwickeln.

Unsere Bootsbau-Abteilung hat sich auf den Bau von Segelbooten bis etwa 18 m Länge beschränkt. Da wir aber anderen Werften technische Hilfestellung geben und die Verwendung unserer Produkte mit großer Aufmerksamkeit verfolgen, haben wir auch entsprechende Erfahrungsberichte über andere Anwendungsgebiete von Material und Verfahren. Wir hoffen, diesen Erfahrungsaustausch auch mit Ihnen fortsetzen zu können.

Wir wünschen Ihnen für Ihren Bau guten Erfolg. Wenn Sie technische Ratschläge bei der Anwendung von WEST SYSTEM Materialien haben, rufen Sie uns an oder schreiben Sie uns. Wir interessieren uns immer für die Arbeit unserer Kunden, und wir hoffen, daß Sie uns an Ihren guten Lösungen teilhaben lassen, so daß wir sie weitergeben können.

Kapitel 2

Überlegungen vor dem Bau

Es gibt viele Gründe, sein Boot selbst zu bauen. Sei es, daß man sich einfach daran freut, wie das Werk Formen annimmt, sei es, daß man es als Herausforderung ansieht und über das Gelingen Stolz empfindet. Vielleicht wird auch genau das Boot, nach dem man sucht, auf dem Markt nicht angeboten. Es kann auch sein, daß man nicht die Qualität und Arbeitsausführung findet, die man sich vorstellt. Wenn es Ihnen so geht wie vielen Menschen, dann wollen Sie das Boot selbst bauen, um Geld zu sparen.

Um nun alle diese Vorteile und Einsparungen zu nutzen, muß man nicht nur sorgfältig planen, sondern auch realistische Vorstellungen haben, welche Folgen mit einem solchen Unternehmen verbunden sind. Jemand, der mit dem Bootsbau beginnt, ohne klare Vorstellungen über Zeit- und Geldaufwand und die mit dem Bau verbundenen Schwierigkeiten zu haben, wird eventuell scheitern. Sie wollen sicherlich nicht einer dieser Menschen sein.

Kapitel 3 gibt Richtwerte für die Kosten von Material und Beschlägen und den für den eigentlichen Bootsbau notwendigen Zeitaufwand. Das bedeutet, daß man nicht nur den Entschluß zum Bau gefaßt hat, sondern auch einen ganz bestimmten Entwurf im Auge haben sollte. In diesem Kapitel wollen wir die Dinge zur Sprache bringen, die man vor dem Abenteuer des Bootsbaus überdenken sollte. Wer noch niemals ein Boot gebaut hat, findet hier eine Entscheidungshilfe, ob die Mittel und Möglichkeiten reichen, um den Bau erfolgreich durchzuführen.

Wir haben nicht vor, einen Bootsbauer in spe zu entmutigen. Genau genommen, hoffen wir, daß Sie am Bootsbau soviel Freude haben, daß Sie diese Arbeit immer wieder machen werden. Wir haben alles gebaut, angefangen vom kleinen Beiboot bis zum kürzlich fertiggestellten 35 Fuß Trimaran STRESFORM, wir wissen also, wie aufregend es ist, ein neues Boot in Angriff zu nehmen. Es ist einfacher, seinen Enthusiasmus beim Bau zu behalten, wenn man vorher alles durchdacht hat.

Soll man sein Boot selber bauen?

Bevor man nun erhebliche Mittel in ein Projekt steckt, sollte man alle Argumente für und gegen den eigenen Bootsbau abwägen. Man spart Geld. Wichtiger ist aber, daß man zum Schluß genau das Boot hat, das man sich vorstellte, mit allen Einzelheiten und in der Qualität, die man sich vorgegeben hat. Das erfordert aber eine hohe Investition an Zeit, Energie und Geduld.

Bei einem Serienboot machen die Löhne etwa 50% der Gesamtkosten aus, für einen Einzelbau liegen sie erheblich höher. Wer sein Boot selber baut, zahlt nicht für die Arbeit Anderer. Wer seine berufliche Tätigkeit nicht mifgibt und sein Boot in der Freizeit baut, spart Arbeitslöhne.

Außerdem fallen keine Kosten für Handelsspannen an. Ein Boot, das für 15.340 € verkauft wird, hat in der Herstellung wahrscheinlich 12.270 € gekostet. Der Rest wird von Transport, Gemeinkosten, Verdienst und Vermarktung geschluckt. Diese zusätzlichen Kosten spart der Selbstbauer ein.

Man zahlt zwar Umsatzsteuer für Material und Beschläge, aber insgesamt ist der Anteil der Steuer niedriger, denn auch Vermarktungskosten und Löhne sind noch mit direkten und indirekten Steuern belegt.

Wer einen Bankkredit für sein Boot aufnehmen muß, spart beim Selbstbau ebenfalls, weil die Kreditsumme niedriger ist als beim Kauf. Man kann die Summe niedrig halten, indem man sein Material entsprechend dem Baufortschritt beschafft. Dadurch läßt sich die Kreditzeit verringern.

Ein Boot, das im Eigenbau entstanden ist, verursacht im Laufe seines Lebens außerdem geringere Unterhaltskosten, der Erbauer und Eigner kann Fehler leichter erkennen und beheben. Ein Boot besteht nun einmal aus einer Vielzahl von Einzelteilen. Wer diese alle selbst gekauft und eingebaut hat, erkennt früher, wann sie repariert oder ausgewechselt werden müssen. Auch Bezugsquellen und Reparaturbetriebe sind bekannt. Wer sein Boot selbst gebaut hat, ist später außerdem wohl jeder noch so großen Reparatur am Rumpf gewachsen.

Bild 2.1 – ROGUE W AVE, ein seegehender Renn-Trimaran, den Dick Newick für den verstorbenen Phil Weid entworfen hat. Pläne sind vom Konstrukteur erhältlich. (Der Profdmast wurde von der Fa. GOUGEON BROTHERS Inc. entwickelt).

Sollten Sie eventuell Ihr selbstgebautes Boot einmal verkaufen, ist es sogar möglich, einen Teil der Investition zu Geld zu machen. Wer die Arbeit schnell und gut gemacht hat, kann sogar seine Arbeitszeit in gewissen Grenzen nachträglich bezahlt bekommen. Gutachter beurteilen den Wert eines Bootes nach seinen guten und schlechten Eigenschaften. Ein Eigenbau wird niemals so hoch geschätzt werden wie der Bau einer renommierten Werft, wenn die Arbeit aber fachgerecht ausgeführt und gutes Material verwendet wurde, sollte man das Boot für einen akzeptablen Preis verkaufen können.

Nachdem wir nun wissen, daß wir durch Selbstbau Geld sparen können, wird es Zeit, wieder mit beiden Beinen auf die Erde zurückzukommen. Es ist leicht, von einem imaginären Bankkonto Geld abzuheben, wenn man keine präzise finanzielle Grenze gesetzt hat. Man muß genau wissen, wieviel man ausgeben kann. Man sollte nicht den Fehler machen, anzunehmen, daß kleine Planungsänderungen auch nur geringe zusätzliche Kosten verursachen und daß man sich diese leisten kann, weil man ja soviel Geld durch den Eigenbau gespart hat. Eine Reihe kleiner Änderungen kann große finanzielle Folgen haben, die den Bau in Gefahr bringen.

Wer sein Boot selber baut, bekommt wahrscheinlich mehr Boot für sein Geld. Auf jeden Fall hat man mehr Freiheit bei der Wahl des Entwurfs, sei er noch so modern oder traditionell. Da Bootsbau heute im Normalfall Serienbau ist, müssen die Entwürfe den Durchschnittsgeschmack treffen. Wenn Sie sich einen Einzelbau von einer Werft nicht leisten können und Ihre Vorstellungen von einer idealen Rumpfform von der Norm abweichen, kann Selbstbau die einzige Lösung sein.

Der Zwang zu kostengünstiger Serienfertigung beeinflußt auch die Baudetails. Innenausbau verlangt Zeit und Geschick. Hersteller, die zu günstigen Preisen anbieten wollen, müssen in der Einrichtung ebenfalls sparen und können nur in geringem Maße persönliche Annehmlichkeiten für den Eigner berücksichtigen. Ein Selbstbau kann genau die Schubfächer, Schränke oder z.B. die Farbabstimmung haben, die man sich vorgestelllt hat.

Auch wenn verantwortungsbewußte Hersteller in der Sicherheit des Bootes keinen Kompromiß eingehen, kann der Eigenbau sicherer sein als ein gekauftes Boot. Die genaue Kenntnis der Konstruktion gibt dem Selbstbauer ein gutes Gefühl für die Leistungsfähigkeit und die Grenzen des Bootes. Außerdem wird ein Rumpf, der aus Holz und WEST SYSTEM Epoxid gebaut wurde, bezogen auf sein Gewicht, fester sein als einer aus GFK.

Diese Vorteile kann man aber nur nutzen, wenn man die Grundkenntnisse hat, um überhaupt ein Boot zu bauen. Der Bau in Holz/Epoxid ist wahrscheinlich einfacher als der Bau in traditionellen Verfahren, aber Erfahrung in der Holzverarbeitung ist trotzdem Voraussetzung. Das Aufreißen ist nicht so einfach und verlangt Geometriekenntnisse, die Sie wahrscheinlich seit Ihrer Schulzeit nicht mehr gebraucht haben. Lesen Sie in diesem Buch das Kapitel über Schnürboden-Arbeit und Sie werden feststellen, ob Sie sich dieser Aufgabe gewachsen fühlen. Sie können auch die Abkürzung wählen und Pläne kaufen, die kein Aufschnüren mehr erfordern, aber möglicherweise sind die Kurven Ihres Bootes dann nicht ganz so glatt, wie Sie es gerne hätten.

Wer ein Boot bauen will, muß bereit sein, viel Zeit zu opfern; auch das Segeln wird dem Bootsbau zum Opfer fallen. Wochenenden und Abende werden durch Planung, Käufe und den Bau selbst bestimmt werden, daher muß die Familie das Vorhaben unterstützen. Wenn Frau und Kinder aktiv mit

von der Partie sind, werden sie Enttäuschungen, Stolz und Befriedigung teilen, die nun einmal mit dem Bootsbau verbunden sind. Ist die Familie beteiligt, kann der Bau sogar schneller fortschreiten.

Bootsbau erfordert Geduld und Ausdauer. Die Freude daran kann groß sein, aber auch die Mühe und die Enttäuschung. Schleifen macht keinen Spaß, muß aber sein, damit das Boot wirklich glatt wird. Man muß bereit sein, viele Stunden mit harter, immer wiederkehrender Arbeit zu verbringen.

Wer sein Boot selber baut, muß mit dem Risiko leben, das nun einmal mit jedem großen Vorhaben verbunden ist. Irgendwann in ferner Zukunft und verursacht durch Gründe, auf die man keinen Einfluß hat, könnte es notwendig sein, den Bau abzubrechen. Das kann finanzielle Schwierigkeiten zur Folge haben: es ist ausgesprochen schwierig, einen halbfertigen Rumpf zu verkaufen. Schlimmer noch ist die psychologische Seite, wenn man etwas aufgeben muß, in das man Zeit und Energie gesteckt hat.

Wer noch nie ein Boot gebaut hat, sollte mit einem kleinen anfangen. Der Bau einer Jolle kann einem z.B. die Erfahrungen mit Materialien und Methoden vermitteln, wie sie in diesem Buch beschrieben werden. Fehler an einem kleinen Boot lassen sich leichter beheben als an einem großen. Daneben ist dieses eine gute Entscheidungshilfe, um herauszufinden, ob man die Fertigkeiten, die Zeit und die Hingabe mitbringt, um sich an ein großes Projekt zu wagen.

Wie man das richtige Boot findet

Hat man sich nun aber zum Bau entschlossen, heißt es, sorgfältig den passenden Entwurf zu wählen. Dazu muß man sich einige Fragen stellen. Wie will man das Boot nutzen? Welche Geldmittel stehen zur Verfügung? Werden diese Punkte nicht sorgfältig durchdacht, wird man vielleicht ein Boot wählen, das gar nicht den Bedürfnissen entspricht.

Mit wem will man segeln? Soll das Boot nur am Wochenende oder für Tagesfahrten genutzt werden, oder soll es für längere Reisen geeignet sein? Man sollte die Voraus schau über einen längeren Zeitraum anstellen und gegen die wahrscheinliche Nutzungsdauer des Bootes abwägen. Junge Familien haben die Tendenz, zu wachsen, aber wenn die Kinder größer werden, braucht man vielleicht gar nicht mehr soviel Platz wie man eingeplant hat. Jedes Boot hat zwar eine Beladungsgrenze, aber die ist kaum identisch mit der Zahl von Menschen, die sich an Bord wohlfühlen können. Als Faustregel kann man sagen: Viele Mitfahrer für einen Tagestrip, weniger bei einer geplanten Übernachtung und noch weniger auf einem Wochenend-Törn.

Yachten, die für Langfahrten die entsprechende Einrichtung haben und über große Wasser- und Treibstoffvorräte verfügen, sind in Bau und Unterhalt teuer. Bevor man eine solch hohe Investition vornimmt, sollte man überlegen, wo man das Boot benutzen will und wie es ausgestattet sein soll. Einrichtung und Ausrüstung, die nicht ganz so vollkommen sind, erfordern vielleicht das häufigere Anlaufen eines Hafens, aber sie sparen viel Geld.

Wo soll das Boot hauptsächlich genutzt werden? Eine Karte dieser Gewässer und die vorherrschenden See-und Windbedingungen können die Entscheidung mitbestimmen. Alle diese Gesichtspunkte sollten bei der Wahl des Entwurfs eine Rolle spielen. In flachen Gewässern und Tidengebieten sollte man sich zweimal überlegen, ob ein Kielboot das Richtige ist. Bestimmte Boote sind wiederum eher für leichte Winde geeignet als andere. Geschützte Gewässer mit Landsicht erfordern weit weniger Instrumente als die offene See. Die Einrichtung kann darauf abgestimmt sein, wo welche Versorgungseinrichtungen in den Häfen angeboten werden.

Bild 2.2 – OLLIE, ein 35 Fuß Trimaran vom Typ STRESFORM, entworfen und gebaut von GOUGEON BROTHERS Inc.

Soll das Boot auch für Regatten genutzt werden? Wenn ja, muß man die Möglichkeiten dazu in erreichberer Entfernung prüfen. Es gibt sehr unterschiedliche Vermessungsregeln, und sie begünstigen bestimmte Typen, also spielen auch sie bei der Entscheidung eine Rolle.

Soll das Boot auf einem Trailer transportiert werden? Trailern erfordert manchmal recht viel Arbeit und zusätzlich Wartezeit an den Slips, aber es verringert die Kosten und erweitert das Revier. Der Landtranport muß also mit in die Überlegungen einbezogen werden: schwere Boote sind besonders aufwendig zu slippen.

Man muß auch überlegen, wieviel man jährlich für den Besitz und Unterhalt eines Bootes ausgeben kann. Die Kosten für Lagerung und Slippen sind schwer vorherzusagen, da sie regional unterschiedlich sind. Unterhalt, Versicherung, Reparaturen und Erneuerung von Beschlägen hängen sehr von der Arbeitsausführung, der Qualität der Beschläge und dem Gesamtzustand des Bootes ab. Alle diese Kosten belaufen sich auf etwa 3 bis 5% des Neupreises eines fertig gekauften Bootes. Hinzu kommt noch der Brennstoff. Wenn man also 5% plus Treibstoff ansetzt, hat man eine Reserve für größere Reparaturen.

Bild 2.3 – Beliebt und in Rennen weltweit vertreten: Die DN-Eisklasse, ein gutes Objekt für den beginnenden Hobby-Bootsbauer.

Baupläne

Sobald man klare Vorstellungen über das Wunschboot hat und übersehen kann, wieviel Geld zur Verfügung steht, heißt es, den richtigen Entwurf zu finden. Wir raten dazu, einen renommierten Yachtkonstrukteur aufzusuchen. Ein Fachmann kennt die Belastungen, denen ein Boot ausgesetzt ist und wird sicherstellen, daß das Boot diesen auch den standhält. Man kann Geld sparen, indem man sein Boot selbst entwirft, aber wir raten davon ab. Das Entwurfshonorar ist niedrig im Vergleich zum Preis einer Yacht. Verzichtet man auf einen Konstrukteur, ist das wie eine Wette, in der man sehr viel Geld gegen sehr wenig setzt.

Die Suche nach dem richtigen Entwurf sollte genauso sorgfältig vorgenommen werden wie die nach den Baumaterialien. Ein Konstrukteur sollte auch bereit sein, Rat zu geben. Spfychen Sie mit mehreren oder schreiben Sie sie an. Holen Sie Preise ein und lassen Sie sich den Lieferumfang definieren. Wenn Sie vorhaben, mit WEST SYSTEM Materialien zu bauen, informieren Sie Ihren Konstrukteur und vergewissern Sie sich, daß die Detailkonstruktion hierfür auch anwendbar ist. Wer vorhat, ein Klassenboot zu bauen, sollte die Klassenvereinigung wegen der Pläne ansprechen.

Man hat nun die Wahl zwischen vier verschiedenen Sorten von Plänen. Ein Einzelentwurf, der exklusiv für einen Eigner gefertigt wird, kostet etwa 10% der Bausumme. Modifizierte Einzelentwürfe basieren auf einem Standard-Entwurf, werden aber für jeden Auftraggeber nach seinen Vorstellungen abgeändert. Sie sind für etwa 4% der Bausumme zu haben. Standardpläne kosten etwa 1/2 bis 2% der Bausumme und sind natürlich in keiner Weise exklusiv. Studierpläne sind nicht für den Bau geeignet, aber sie liefern schon eine Menge Information für den zukünftigen Bootsbauer. Diese Pläne werden von den Konstrukteuren an mögliche Kunden entweder kostenlos oder zu sehr niedrigen Sätzen abgegeben.

Auch innerhalb einer dieser Gruppen unterscheiden sich die Pläne ganz erheblich in Bezug auf die Menge der Detail-Information. In einigen findet man jede Einzelheit der Konstruktion, einige enthalten Spant-Konturen im Maßstab 1:1 oder listen Hölzer und Beschläge auf. Andere gehen davon aus, daß der Käufer schon recht gute Bootsbaukenntnisse hat und bieten nicht viel mehr als einen Linienriß und Aufmaßtabellen. Qualität und Preis der Pläne werden nicht unbedingt von der Menge der gelieferten Information bestimmt.

Detailzeichnungen mit Angaben über die Abmessungen aller Bauteile sind selten in den Plänen enthalten. Stattdessen wird der Konstrukteur eine Aufstellung der Bauteilabmessungen liefern oder sich auf die Richtlinien einer Klassifikations-Gesellschaft oder die von Nevin oder Herreshoff aufge-

stellten Regeln beziehen. Diese vorgeschriebene Dimensionierung ist wichtig für die sichere Benutzung des Bootes. Der Konstrukteur hat sie festgelegt, indem er spezifische Belastungen auf das Gesamtgewicht des Rumpfes abgestimmt hat, sie können also nicht ohne weiteres von einem Entwurf auf einen anderen übertragen werden. Wer genauere Auskünfte über die Bauteilabmessungen erhalten möchte oder daran denkt, sie abzuändern, sollte das nicht tun, ohne einen Fachmann zu fragen.

Zu starke Dimensionierung ist einer der üblichen Irrtümer im Bootsbau. Ein Abweichen nach der sicheren Seite hin – also eine Vergrößerung der Bauteilabmessungen – ist eine Verschwendung. Wer sein Deck 32 mm stark baut, obwohl 27 mm mehr als ausreichend wären, kauft mehr Holz als er wirklich braucht und hat zum Schluß ein zu schweres Boot. Dieses zusätzliche Gewicht belastet aber zum Beispiel bei einem Segelboot das Rigg oder treibt bei einem Motorboot den Brennstoff-Verbrauch in die Höhe. Wenn ein Boot schwerer wird, als es der Konstrukteur geplant hat, schwimmt es zu tief und läuft nicht so gut wie es könnte.

Wie unterschiedliche Boote keine gleichen Wandstärken und Versteifungen haben, haben auch die verschiedenen Bauverfahren eine unterschiedliche Dimensionierung zur Folge. Man kann nicht einfach die Dimensionierung eines formverleimten Rumpfes auf eine Knickspant-Konstruktion übertragen. Wer also die Absicht hat, das in den Plänen dargestellte Bauverfahren zu ändern, sollte seinen Konstrukteur fragen. Wir sind zwar immer bereit, technische Beratung zu leisten, aber wir können keine Dimensionierung für einen bestimmten Entwurf vornehmen.

Das Umarbeiten von Bauplänen für WEST SYSTEM Materialien

Wir werden oft gefragt, ob man mit unseren Bauverfahren auch traditionelle Boote bauen kann. Das kann man, wenn man einige Änderungen vornimmt.

Baupläne für traditionelle Boote, die heute noch angeboten werden, sind überwiegend entstanden, als es noch keine modernen Harze gab. Also sind auch die vorgeschlagenen Bauverfahren der damaligen Zeit entsprechend: Ein typischer Entwurf wird vielleicht eine Karweel-Beplankung über dicht liegenden Spanten vorschreiben, eine ausgeprägte Steven- und Kielsponung zeigen sowie Kupfernägel und Bronzeschrauben vorschlagen. Diese Bauweise verträgt sich nicht mit den von uns entwickelten. Jeder Versuch, Altes und Neues zu vereinigen, wird in einer Mischung enden, die niemanden zufriedenstellen kann.

Die Lösung besteht darin, daß man sehr wohl die alten Linien benutzen kann, die gesamte Dimensionierung aber so ändert, daß eines der in diesem Buch beschriebenen Bauverfahren anwendbar ist. Wie immer, wenn es um die Änderung der Abmessungen von Bauteilen geht, raten wir, dieses nur unter Anleitung eines erfahrenen Konstrukteurs zu tun. Jedes Boot muß für sich betrachet und auch durchkonstruiert werden, weil es eben keine Umrechnungs tabellen gibt.

Man kann gute Pläne moderner Entwürfe kaufen, aber sie sind oftmals für GFK, Stahl oder Ferrozement ausgelegt. Der Grund dafür, daß Konstrukteure oft in diesen Materialien denken, liegt einfach daran, daß sie entweder wenig über Holz wissen oder keine besondere Vorliebe für diesen Werkstoff entwickelt haben. Daraus folgt, daß sie wenig Hilfe bieten können, wenn man ihre Pläne in Holz/WEST SYSTEM Epoxid umgearbeitet haben möchte. Unser Rat ist, dann lieber nach einem geeigneten Bauplan weiterzusuchen, wenn man mit dem Problem der Werkstoff-Änderung konfrontiert wird.

Viele gute Konstrukteure sind mit unseren Bauverfahren vertraut und bieten Pläne für Holz/Epoxid Kompositbauweisen an. Wir können Ihnen gerne Hinweise darüber geben, wer Ihnen bei einem ganz speziellen Bootstyp in dieser Beziehung weiterhelfen kann.

Kapitel 3

Material- und Zeitbedarf

Eine realistische Schätzung der Materialkosten und der benötigten Zeit vergrößert die Wahrscheinlichkeit, daß Sie Ihr Boot auch fertigstellen werden. Wenn Sie zu den glücklichen Menschen gehören, hat Ihr Konstrukteur mit den Plänen bereits eine Kostenschätzung geliefert. Ist das nicht der Fall, müssen Sie sich die Zeit nehmen, eine solche Kalkulation zu erstellen, bevor Sie mit dem Bootsbau beginnen. Man kann natürlich den Preis eines Serienbootes gleicher Art und Größe zugrunde legen und von diesem dann die Hälfte oder zwei Drittel nehmen, aber wir empfehlen, die Schätzung doch etwas genauer vorzunehmen.

Wenn Sie die Pläne Ihres Bootes durchsehen, sollten Sie eine grobe Schätzung auf der Basis Preis pro kg Material aufstellen. Wenn Ihnen diese Kosten vertretbar erscheinen und Sie sich für einen bestimmten Entwurf entschieden haben, sollten Sie den nächsten Schritt bei der Schätzung tun. Dazu bestimmen Sie die Kosten für den Rumpf nach seiner Oberfläche und addieren die Kosten für Beschläge und sonstige Ausrüstungsteile. Außerdem ist es sehr sinnvoll, sich bereits über die für den Bau notwendige Zeit Gedanken zu machen, indem man die Bauschritte einzeln durchdenkt. Am sinnvollsten ist es, dieses zu tun, bevor man sich überhaupt an ein solches Projekt heranwagt.

Diese ersten groben Schätzungen wird man revidieren müssen, sobald das Boot auf der Schnürbodenplatte aufgerissen ist. Erst dann hat man einen genauen Überblick über die Materialkosten, allerdings noch nicht über die Arbeitszeit.

Grobe Schätzung

Um nun zu diesen Werten zu kommen, muß man sich eine Zusammenstellung aller Materialien machen, die für Rumpf und Deck benötigt werden und ebenso über das Fertiggewicht des Bootes. Diese letzte Information sollte in den Plänen enthalten sein. Falls nicht, fragen Sie Ihren Konstrukteur.

Um die Rumpfkosten genauer abzuschätzen, muß jedes Bauteil in seinem Verhältnis zum Gesamtgewicht festgelegt werden. Wenn Sie zum Beispiel den Bau eines Bootes planen, dessen reines Schalengewicht (also Rumpf, Deck, Aufbau und Plicht) etwa 1000 kg beträgt, könnte bei dieser Überlegung herauskommen, daß Sie hierrur Douglastanne, Khaya und WEST SYSTEM Epoxid in den in Tabelle Abb.1 aufgelisteten Mengen benötigen, dazu noch Sperrholz unterschiedlicher Stärke und Qualität. Als nächstes muß man den Preis aller dieser Materialien bestimmen. Einige, wie z.B. WEST SYSTEM Harz, werden nach Kilogramm verkauft und sind daher leicht zu bestimmen, bei anderen muß man erst ein wenig rechnen. Schnittholz wird nach Volumen verkauft und die Preise werden meistens in Euro/m^3 angegeben. Für unsere Musterrechnung nehmen wir wieder das Boot mit einem Schalengewicht von 1 t. Das würde dann die unten gezeigte Tabelle ergeben. Um teure Überraschungen zu vermeiden, sollte man 20% Verschnitt bzw. Verlust einrechnen.

Diese erste Rechnung wird natürlich nicht sehr genau sein, aber ein kleiner Fehler wird die Kalkulation nicht über den Haufen werfen. Der Preis für die nackte Rumpfschale hängt sehr von dem verwendeten Material ab. Bei den meisten Booten lagen die Richtpreise im Jahre 1985 für Rumpf und Deck bei 5,11 bis 7,67 €/kg, obwohl dieser Wert natürlich überschritten werden kann, wenn man exotische Hölzer oder besondere Materialien verwendet.

Der zweite Teil der rohen Schätzung, nämlich die Kosten für Beschläge, beinhaltet das Rigg, Segel, Maschine, Kiel, Innenausbau und Decksbeschläge und kann nicht nach demselben Schema errechnet werden. Um zunächst einmal einen groben Anhaltspunkt zu haben, kann man die Kosten für den nackten Rumpf mit 3 multiplizieren. Die Beschläge in einem Rennboot können auch das Vierfache erreichen, während einfachere Boote vielleicht nur auf das Doppelte kommen.

Rechnen wir nun die Kosten für Rumpf und Beschläge des 2,5 t Bootes zusammen, belaufen die Materialkosten sich etwa auf folgendes:

Rumpf, Deck, Aufbau	€ 6.087,60
Beschläge, Ausrüstung	€ 18.262,80
Gesamtkosten, Schätzung	€ 24.350,40

Bild 3.1 – Muster-Kalkulation für die Bootsschale

Grobe Materialeinschätzung

Material	Menge Einheit	Preis pro Einheit EUR/m³	EUR/m²	EUR/kg	Preis EUR
1. Massivholz					
Oregon Pine	0,35 m³	1.340,00			469,00
Khaya	0,5 m³	1.100,00			550,00
2. Sperrholz					
– 12 mm außen	20 m²		40,00		800,00
– 12 mm innen	18 m²		18,00		324,00
– 8 mm innen	46 m²		13,00		598,00
3. WEST SYSTEM Epoxid	180 kg			12,40	2.232,00
4. Hilfsstoffe					100,00
				Zwischensumme	5.073,00
				+ 20% Verschnitt	1.014,60
				Bootsschale, Material	6.087,60

Genaue Schätzung – Kosten für Rumpf, Deck, Aufbau

Die erste Schätzung kann noch nicht sehr genau sein, besonders bei größeren Booten. Um sie realistischer zu gestalten, muß man eine genaue Liste aller Materialien aufstellen. Alle Teile vom Kiel über die Einrichtung bis zum Rigg müssen darin enthalten sein. Man sollte jeden Bauschritt durchdenken, angefangen vom Kauf der Baupläne bis zum Stapellauf, um sicherzugehen, daß die Liste wirklich vollständig ist.

Die genaue Schätzung kann man in drei Teile aufspalten: Kosten der Schale, Kosten der Beschläge und Ausrüstung und der Arbeit selbst. Für den ersten Teil brauchen wir im wesentlichen Holz und Epoxid-Harz, während die Kosten für Beschläge und Ausrüstung wie in der ersten rohen Schätzung fertig zu kaufende Teile wie Maschine und Winden beinhalteil. Das Schwierigste in der Abschätzung ist jedoch die Arbeitszeit.

Um die Kosten für die Schale einzugrenzen, muß man nun wieder die Pläne zu Rate ziehen und alle Baumaterialien genau auflisten. Die Konstrukteure geben oftmals die Abmessungen der Materialien und auch die benötigten Mengen in ihren Zeichnungen oder Bauvorschriften an. Falls diese Information fehlt, muß man sich die Arbeit machen, sie aus den Plänen herauszumessen.

Sobald man nun diese Materialliste hat, können wir sie in fünf Kategorien unterteilen:
(1) Außenhaut, Aufbau, Plicht, Deck, Schwert und Ruder;
(2) Aussteifung des Rumpfes wie Stringer, Spanten, Balkweger, Steven, Schotte, Bodenwrangen und Schwertkasten;
(3) Einrichtungsteile, von Kojen und Schränken bis zu Schwalbennestern und kleinen Zwischenwänden;
(4) WEST SYSTEM Epoxid für Verklebung und Beschichtung, zuzüglich Pigmente und Füllstoffe;
(5) Verschiedene Materialien wie Farbe, Holz für Formen, Glasgewebe, Kernmaterialien, Klammern, Schrauben und Schleifpapier.

Die Kosten für das Material, das man für die Schale benötigt, lassen sich genau aus den Oberflächen von Rumpf und Deck errechnen. Wenn diese Werte aus den Plänen nicht ersichtlich sind und der Konstrukteur sie nicht liefert, müssen sie aus den Bauplänen herausgemessen werden. Für die Außenhautflächen kann man sich helfen, indem man einen Bindfaden entlang der Spantform legt und diese Länge dann abmißt. Diese Werte werden dann addiert und durch die Anzahl der Spanten geteilt. Um nun die Rumpfoberfläche zu finden, braucht man sie nur noch mit der Länge des Rumpfes zu multiplizieren.

Bevor man nun aber eine genaue Schätzung der Kosten vornehmen kann, muß man sich darüber klar sein, nach welchem Verfahren das Boot gebaut werden soll – Leistenbauweise, Blockmethode, Längsspanten, Knickspant oder was auch immer. Entschließt man sich, den Rumpf in formverleimter Bauweise herzustellen, braucht man die Anzahl der Furnierlagen. Um hier wieder ein einfaches Beispiel zu geben: Nehmen wir einmal an, daß ein Rumpf

Bild 3.2 – Muster-Kalkulation für Furniere

Genaue Schätzung des Furnierbedarfs

Material	Rumpfoberfläche m^2	Preis pro m^2 EUR	Preis pro Lage EUR	Anzahl der Lagen	Materialkosten EUR
3 mm Mahagoni-Messerfurnier	25	1.340,00 1.100,00 12,00	300,00	4	1.200,00
				Zwischensumme	1.200,00
				+ 20% Verschnitt	240,00
				Gesamtkosten Furnier	1.440,00

mit 25 m^2 Oberfläche mit 4 Lagen von Je 3 mm Mahagonifurnier gebaut werden soll.

Die Kosten für die Aussteifung des Rumpfes zu ermitteln, ist schon etwas komplizierter. Um hier zu einer genauen Schätzung zu kommen, muß man die aufgestellte Liste Position für Position durchgehen. Sie werden feststellen, daß Ihr Holzhändler niemals genau die Abmessungen vorrätig hat, die Sie benötigen. Hier muß man nun abwägen, welche Standardmaße sich am besten für das Boot eignen. Man sollte versuchen, so wirtschaftlich wie möglich zu denken, besonders bei Sperrholz, aber man muß für den Verschnitt doch eine Menge Zuschlag einrechnen. Einige Bauteile sind besonders schwer abzuschätzen und verlangen erhöhte Aufmerksamkeit. Nur wenige Holzhändler werden in der Lage sein, eine Latte von 60 x 30 mm mit 7,5 m Länge zu liefern, die Sie für einen Balkweger benötigen. Sie werden vielleicht gezwungen sein, zwei Planken von dieser Länge zu kaufen, die aber nur in dem Maß 150 x 25 mm lieferbar sind, und den Balkweger hieraus verleimen. Dadurch verbrauchen Sie nun mehr Holz, als Sie ursprünglich geplant hatten. Wenn man sich nun noch dazu entscheiden muß, den Balkweger zu schäften, kommt noch zu der Gesamtlänge der Planken die Schäftungslänge hinzu.

Vielleicht haben Sie vorgesehen, den Steven des Bootes aus mehreren Lagen zu lamellieren. Dieses Holz muß dafür zuge sägt werden, aber bevor Sie versuchen können, den Steven in seine Form zu bringen, wissen Sie nicht, welches die beste und wirtschaftlichste Stärke der einzelnen Lagen ist. Dabei muß man sich folgendes klarmachen: Ein Kreissägeblatt nimmt etwa 3 mm durch den Sägeschnitt vom Holz weg. Wenn Sie also 3 mm starke Furnierlagen für den Steven benutzen, bedeutet das einen Verlust von 50%. Wenn Sie aber 6 mm starke Lagen biegen können und diese auf Lager vorrätig sind, wird natürlich auch der Verschnitt entsprechend kleiner.

Beim Bau von Rahmenspanten aus Sperrholz ist es ebenfalls sehr schwierig, die benötigte Menge abzuschätzen, bevor man sie aufgerissen hat. Wenn man den hohen Preis für Sperrholz berücksichtigt, will man natürlich nicht zuviel einkaufen. Um hier zu einer Lösung zu kommen, muß man etwas erfinderisch sein und z.B. Bauteile wie Schotte und sonstige Einrichtungsteile maßstäblich auf einem Stück Papier aufreißen, um die Platten bestmöglichst auszunutzen. Man sollte aber trotzdem immer noch etwas mehr bestellen, als man zu benötigen glaubt. Überhaupt sind die Kosten der Einrichtungsteile sehr schwer abzuschätzen, weil der Ver-

Bild 3.3 – Bedarfs-Schätzung für WEST SYSTEM Epoxidharz

Ungefähre Abschätzung des Materialbedarfs

Anwendungsbereich	Harzverbrauch kg/m^2	Verlust
Sättigungsüberzug	0,14	20%
Folge-Anstrich/Überzug	0,14	20%
Verleimung	0,3 bis 0,5	20%
Glasbeschichtung 330 g/m^2.....	0,5	10%

schnitt hier enorm groß ist. Der Bedarf an Schnittholz ist dagegen nicht sonderlich kritisch, da man aus den Abschnitten immer noch irgendetwas fertigen kann, wie z.B. Klampen oder Eckleisten und kleine Füllstücke. Die Abmessungen dieser Massivhölzer sind meistens in den Plänen angegeben. Sperrholz dagegen kann mitunter Probleme bereiten.

Man muß also den Bauplan genau durchsehen, um festzustellen, wieviele der Einbauteile man z.B. aus einer Sperrholzplatte zuschneiden kann. Wenn Sie z.B. sechs Kojen von 1,8 x 0,75 m zuschneiden wollen und für jede eine Sperrholzplatte benutzen, haben Sie zum Schluß sechs Stücke Sperrholz übrig, die man nicht sonderlich gut für andere Teile verwenden kann. Nun muß man herausfinden, wo diese Reste sinnvoll benutzt werden können, eventuell muß man die Teile sogar schäften, um sie wieder für größere Bauteile verwenden zu können. Die Frage lautet also: Welche Schotte, Kojenbretter, Schwalbennester und kleinen Trennwände kann man aus einer rechteckigen Platte schneiden? Wenn Sie mit diesen Überlegungen fertig sind, steht auch fest, wieviele Platten sie benötigen.

Alle Holzoberflächen des Bootes sollten mit WEST SYSTEM Epoxid beschichtet sein. Man sollte davon ausgehen, daß man wenigstens zwei Lagen auftragen muß – eine für das Tränken und eine für die Oberflächenversiegelung. Das gilt für Innenräume; die Außenflächen benötigen noch einige Anstriche zusätzlich. Epoxid-Harz wird sowohl als Leim zwischen den Lagen von formverleimten Rümpfen wie auch für Verbindungen und Spachtelkehlen benutzt. (Siehe Kapitel 9 – 12, in denen die Anwendungstechniken genau beschrieben werden).

Um die Kosten für WEST SYSTEM Harz und Härter abzuschätzen, muß man nun wieder in die Liste mit den Bauteilen sehen, um die gesamte Innenfläche zu erfassen. Man darf nicht vergessen, Rahmen, Stringer, Spanten, Schotte und Schränke mit einzubeziehen. Zusätzlich muß man die Menge, die man für die Verbindungen braucht, mit einrechnen. Und schließlich gibt die Oberfläche des Rumpfes einen genauen Anhalt, wieviel Harz man für die Verbindung der einzelnen Lagen braucht.

Wieviel WEST SYSTEM Harz man braucht, hängt sehr davon ab, welche Art von Arbeit man gerade vorhat und wie man arbeitet. Für eine Beschichtung sollte man mit 0,14 kg/m² Harzverbrauch rechnen. Für die Verleimung der einzelnen Lagen lassen sich Vorhersagen etwas schwerer treffen, da sie sehr von der Paßgenauigkeit und auch von der Menge der verwendeten Füllstoffe und dem Anpreß druck abhängen. Ein guter Richtwert ist 0,3 – 0,5 kg/m² Oberfläche bei Verleimung. Wenn man viele kleine Arbeiten ausführt, oder auch bei niedrigen Temperaturen, ist der Harzverbrauch wahrscheinlich höher. Andererseits kann man durch sehr sorgfältiges Passen der Verbindungen und auch durch gute Planung den Verbrauch reduzieren. Trotzdem empfiehlt es sich, 20% Verlust bei der Schätzung mit einzubeziehen.

Hat man den Wert für die Innenflächen ermittelt, gehen wir wieder von einem Verbrauch von 0,14 kg/m² Epoxidverbrauch aus. Diesen Wert verdoppeln wir, um Tränk- und Oberflächenbeschichtung zu berücksichtigen. Dazu kommt noch ein gewisser Prozentsatz für die Verbindungen und Spachtelkehlen. Bevor wir nun die für die Außenhaut benötigte Menge Harz abschätzen, müssen wir wissen, wieviele Anstriche wir für das Tränken, die Verleimung und die Oberflächenbeschichtung aufwenden wollen. Ist dieser Wert festgelegt, teilen wir die Gesamtoberfläche durch 3,25 und multiplizieren sie mit der Anzahl der Epoxidanstriche, die benötigt werden. Ein lamellierter Rumpf braucht wenigstens zwei Verleimungsanstriche zwischen jeder Lage Sperrholz oder Furnier, zuzüglich mindestens drei Lagen für die Außenbeschichtung. Um die Menge festzulegen, teilen wir die Oberfläche durch 2,27 und multiplizieren diesen Wert mit der Anzahl der Leimschichten.

Nun können wir die für die Innen- und Außenflächen ermittelten Werte zusammenrechnen, zuzüglich eines Verlustanteils und haben damit unseren Epoxidbedarf.

Man sollte jetzt wieder einen Blick in die Pläne werfen, um abzuschätzen, welche Zuschlagstoffe und Füller benutzt werden sollen. (Kapitel 7 gibt Richtlinien für die Verwendung dieser Materialien.) Zwei Dinge sollte man berücksichtigen, wenn man den Preis für WEST SYSTEM Epoxid festlegt. Zum einen haben wir unsere Schätzung ja für das Harz/Härter-*Gemisch* gemacht. Ein weit verbreiteter Irrtum ist es, daß man dann die so ermittelte Menge an Harz bestellt und den Härter noch zusätzlich. Zum anderen sollte man sein Epoxid-Harz nicht als Gesamtmenge sofort bestellen, besonders dann nicht, wenn man an einem großen Boot arbeitet. Man sollte seine Lagermöglichkeiten, die finanzielle Situation und die Bauerfahrung hier mit einbeziehen. Wir empfehlen zwar, daß man die Bestellmengen so wählt, daß man in den Genuß günstiger Preise kommt, aber es ist meistens doch sinnvoller, etwas weniger zu bestellen, da man zu dem Zeitpunkt, zu dem man dann nachbestellen muß, schon eine größere Erfahrung hat und die bis

zum Abschluß der Arbeiten noch notwendige Menge besser abschätzen kann.

Um die für den eigentlichen Rumpfbau aufzuwendenden Mittel wirklich voll zu erfassen, muß man nun noch den eigentlichen Bauablauf durchdenken. Man muß also auch die Kosten für Mallholz und ähnliche Hilfsmittel, weiterhin für Klamern und Schrauben für den Modellbau mit hinzuziehen. Wenn Sie die Absicht haben, Glasgewebe oder Graphitfasern für Rumpf, Ruder oder Schwert zu benutzen, müssen auch hierfür die Kosten ermittelt werden. Dann folgt der Preis für Kernmaterialien, Farben und Lacke, und man sollte auch nicht die Preise für Verbrauchsmaterialien vergessen wie z.B. Schleifpapier, Rollen und Pinsel.

Nun zählen wir die fünf Positionen unserer Rumpf-Schätzung zusammen, wobei die Verlustmengen nicht vergessen werden sollen. Die Grundmaterialien werden sich vielleicht auf nicht mehr als 10% der Kosten für das fertige Boot belaufen. Es hat also durchaus seinen Sinn, die Mengen etwas großzügiger anzusetzen, besonders dort, wo die Ausführung noch nicht ganz klar zu übersehen ist. Wenn man etwas mehr Sperrholz und auch Massivholz gekauft hat als benötigt, ist es immer noch besser, als wenn man später mitten in der Arbeit aufgehalten wird, weil irgendein kleines Teil fehlt.

Schätzung -Kosten der Beschläge

Die zweite Hauptposition unserer Vorkalkulation, nämlich die Kosten aller Beschläge, beginnt mit einer Aufstellung der Bootsbeschläge und technischen Ausrüstung, des Riggs, der Instrumente und der Maschine. Diese Ausrüstung ist je nach Bootstyp sehr unterschiedlich, aber die Kosten hierfür erreichen im Verhältnis zum Gesamtpreis doch einen sehr hohen Anteil.

Da Beschläge nun einmal sehr teuer sind, empfehlen wir, zunächst Kataloge und Preislisten von mehreren Herstellern und Händlern zu sammeln. Man muß sich wirklich nach den günstigsten Angeboten umsehen. Die meisten Großhändler gewähren einen Rabatt für Bootsbauer und Händler. Einige verkaufen auch zu diesen Preisen an Privatleute, sofern sie sehen, daß die Gesamtsumme einen entsprechenden Betrag erreicht. Obwohl es wohl nicht möglich sein wird, alle Beschläge und Ausrüstungsteile aus einer Quelle zu beziehen, könnte man auch eine Aufstellung der benötigten Teile an einen Händler schicken und um ein Angebot bitten.

Gute Konstruktionsunterlagen enthalten üblicherweise eine Liste der benötigten Beschläge. Einige Konstrukteure geben auch Hersteller, Beschreibung der Einzelteile und sogar Katalognummern auf und ersparen damit den Bootsbauern viel Zeit bei der Preisabschätzung. Wenn die Pläne keine solchen Angaben enthalten, muß diese Liste selber aufgestellt werden. Das ist nicht immer ganz einfach. Es werden sehr viele unterschiedliche Typen und Qualitäten im Bereich der Beschläge angeboten, und die Wahl fällt manchmal schwer. Offensichtliche Gelegenheitskäufe können sich später als ungeeignet herausstellen. Man muß schon sehr intensiv und sorgfältig suchen und auch Veröffentlichungen zu Rate ziehen, die z.B. Ausrüstungsteile beschreiben und vergleichen. Man sollte auch den Rat von Fachleuten einholen, besonders bei Positionen, die einen hohen Wert erreichen wie Winden, Maschinen und das Rigg. Zum Schluß sollte die von Ihnen aufgestellte Liste eine Bezeichnung eines jeden Einzelteiles enthalten, dazu Angaben über Hersteller und Modellnummer .

Man behält eine bessere Übersicht, wenn man die Beschläge nach Gruppen aufteilt. Wenn diese ähnlich zusammengestellt sind wie in den Katalogen, ist es leichter, diese Einzelteile aufzufinden. Der folgende Kommentar über Beschläge ist in solche Untergruppen aufgeteilt, wie wir sie seit mehreren Jahren benutzen.

Innenausrüstung beinhaltet alles, was sich unter Deck befindet, und bei größeren Booten kann das durchaus der größte Teil der Beschläge überhaupt sein. Der Wohnbereich benötigt Spüle, Kocher, Eisbox oder Kühlschrank, Toilette, Fenster, Lüfter und Türbeschläge. Das elektrische System enthält die Kabel, Schalter, Sicherungstafeln und Zubehör für Beleuchtung, Instrumente, Maschine und andere technische Vorrichtungen. Sie werden Tanks für Brennstoff, Wasser und Schmutzwasser brauchen, ebenso wie die notwendigen Rohrleitungen und Armaturen. Als letzter Punkt auf der Liste stehen hier die Maschine mit Schalldämpfer, Welle, Wellenbock und Stopfbuchse. Die Maschine selbst ist möglicherweise die teuerste Position der gesamten Ausrüstung.

Die Entscheidung für die meisten Teile der im Boot befindlichen Ausrüstung wird nach persönlicher Vorliebe getroffen und wird abhängig davon sein, was man mit dem Boot vorhat und wo es später fahren soll. Rennyachten und Familienboote haben nun einmal sehr unterschiedliche Bedürfnisse. Vielleicht haben Sie auch den Wunsch, Teile der Ausrüstung selbst zu bauen. Wenn das so ist, können die Hinweise über den Bau von Eisboxen, Fenstern, Lüftern und Tanks in späteren Kapiteln dieses Buches weiterhelfen.

Motortype und Leistung werden wahrscheinlich vom Konstrukteur vorgegeben sein. Falls keine bestimmte Maschine für das Boot in den Plänen vorgeschlagen wird, müssen Sie die Entscheidung selbst treffen. Eine gute Daumenregel um die Maschinenleistung zu bestimmen, besagt: 3 kW pro Tonne Verdrängung.

Wir raten, die Entscheidung zwischen Diesel- und Benzinmotor sehr sorgfältig abzuwägen. Obwohl Diesel in der Investition sehr viel teurer sind, werden sie doch während ihrer Lebensdauer billiger in der Unterhaltung sein, da sie weniger Treibstoff verbrauchen und auch weniger wartungsanfällig sind. Dieselöl ist erheblich sicherer als Benzin. Da mehr Boote durch Brände verlorengehen als durch jede andere Ursache, sprechen gute Argumente für den Diesel.

Die Kosten sollten bei der Wahl des Motors zweitrangig sein. Über einen längeren Zeitraum gesehen ist es viel wichtiger, daß sowohl Ersatzteile wie auch versiertes Wartungspersonal zur Verfügung stehen. Besonders Boote, die längere Törns fahren, können Motorpannen in Gegenden der Welt haben, die etwas abseits liegen. Wählt man also eine leicht zu wartende Maschine, vermeidet man erhebliche Probleme in solchen Fällen.

Decksbeschläge können wiederum in drei Untergruppen unterteilt werden. Die erste Gruppe umfaßt die Beschläge, die wir für die Handhabung der Segel benötigen: Blöcke, Schienen, Winden und Klampen. Seereling, Festrnacherklampen, Klüsen und Ankergeschirr sind nun einmal notwendig. Die dritte Gruppe umfaßt die fest eingebauten Beschläge wie Rüsteisen und Ruderanlage.

Da die Beschläge je nach Bootstyp sehr unterschiedlich sind, können wir in dieser Beziehung keinen ganz präzisen Rat geben. Wir schlagen jedoch vor, daß Sie Kapitel 26 dieses Buches lesen, in dem die Grundsätze der Beschlagsbefestigung diskutiert werden, da dieses möglicherweise Ihre Wahl der Befestigungselemente und Metalle beeinflußt, bevor Sie die Kosten für die Decksbeschläge ermitteln.

Das Rigg, die dritte Gruppe der Beschläge, enthält Mast und Baum mit Salingbeschlägen, Scheiben und Blöcken, das stehende Gut, die Fallen, Wantenspanner und die elektrischen Kabel im Mast, die Segel und Schoten. Bevor Sie im Rigg etwas ändern, fragen Sie Ihren Konstrukteur.

Was Mast und Baum angeht, so gibt es drei Möglichkeiten. Man kann entweder den Hinweisen in späteren Kapiteln dieses Buches folgen und die Spieren selbst bauen, man kann die Einzelteile kaufen und das Rigg selbst montieren, und schließlich kann man alles fertig beziehen, denn es gibt einige Lieferanten, die günstige Angebote machen. Man kann also den Takelplan an eine dieser Firmen schicken und um ein Angebot bitten. Bootsbauer haben oftmals Schwierigkeiten, bestimmte Profile, die in den Zeichnungen genannt werden, zu finden. Fragen Sie einen Fachmann um Rat, wenn Sie sich selbst in dieser Lage befinden.

Die vierte Gruppe der Beschläge sind die *Instrumente.* Wenn man nichts braucht als einen Kompaß, ein Echolot, ein Log und ein Radio, dann ist die Liste sehr kurz. Manchmal wird sie allerdings viel länger sein. Wir sind der Meinung, daß man alle Instrumente möglichst von einem Hersteller beziehen sollte. Der Vorteil, nur eine Bezugsquelle zu haben, ist doppelter Natur: Der Preis wird niedriger liegen, wenn Sie mehrere Instrumente gleichzeitig bestellen, und Sie brauchen sich nur an einen Namen zu erinnern, wenn irgend ein Instrument nicht funktioniert. Die Reparatur der Yachtelektronik liegt außerhalb des Wissens für die meisten von uns Wassersportlern. Man sollte also die Bezugsquellen für Ersatzteile und Servicestationen im Auge behalten, wenn man seine Preisschätzung macht.

Der *Kiel* als Einzelposition und gleichzeitig letzter Teil unserer Beschläge, wird üblicherweise aus Gußeisen oder Blei sein. Hierfür gibt es darauf spezialisierte Gießereien, die nach den angelieferten Modellen nur den eigentlichen Guß fertigen. Adressen findet man in Wassersportzeitschriften, und man sollte einige Anfragen starten. Um mit der Nacharbeit an der Oberfläche eines Kiels nicht zuviel Zeit zu verlieren, muß man die Toleranzen und die Oberflächengüte mit angeben. Die Gießereien geben üblicherweise Preise auf Kilobasis ab, in denen auch die Formkosten enthalten sind. Bleikiele sind üblicher als Gußeisenkiele, da sie einfachere Formen verlangen.

Wenn man nun alle fünf Gruppen der Beschläge und Ausrüstung zusammengestellt hat, kann man die Gesamtkosten für diesen Teil des Bootsbaus ermitteln. Wir addieren dieses nun zu den Kosten des Rumpfes und haben damit die für die Materialbeschaffung notwendigen Kosten beisammen.

Schätzung – Die Arbeitszeit

Bei der Abschätzung der Arbeitszeit, die man für den Bau eines Bootes braucht, gibt es soviele Einflüsse, daß es fast unmöglich ist, einen generellen Rat zu geben. Einige Ehefrauen von erfahrenen Bootsbauern behaupten, daß es nur eine wirkliche Regel gibt: Jedes Baustadium dauert zwei- bis drei-

mal solange, wie man geplant hat -wir glauben aber, daß es möglich ist, einen Termin für die Fertigstellung eines Bootes abzuschätzen und ihn auch einzuhalten.

Nach unserer Meinung gibt es vier Faktoren, die den Zeitaufwand für den Bau eines Bootes bestimmen: Größe und Typ des Bootes, die Bauweise, die Fertigkeiten des Selbstbauers und der Zustand der Werkstatt und der Werkzeuge. Wenn man auch nur einen dieser Faktoren im Griff hat, kann man die Arbeitszeit schon erheblich verkürzen.

Die Geschicklichkeit des Bootsbauers ist bei weitem am wichtigsten. Wir sind auf unerfahrene Bootsbauer gestoßen, die von Anfang an eine ausgezeichnete Arbeit geliefert haben, aber sie brauchten dafür sehr viel mehr Zeit als erfahrene Handwerker für die gleiche Arbeit. Wir haben ebenfalls Hobbybootsbauer getroffen, die ebenso schnell und gut wie Fachleute gearbeitet haben. Die Tüchtigkeit des Selbstbauers hängt sehr eng zusammen mit seinen Werkzeugen und der Werkstatt. Während man manchmal die geringe Erfahrung dadurch kompensieren kann, daß man für eine Arbeit das richtige Werkzeug besitzt, stimmt es anderseits auch, daß man niemals wirklich effektiv arbeiten kann, wenn man nicht die richtige Ausstattung hat. (Siehe Kapitel 4: Werkzeuge und Werkstätten).

Die Erfahrung hat uns gelehrt, daß die benötigte Arbeitszeit auch von der Rumpfoberfläche abhängt. Wenn die Boote größer werden, wird auch die Außenhaut dicker und die notwendige Arbeitszeit länger. Der Bau eines 12 m-Bootes dauert etwa 1 1/2 mal so lange wie der eines 9 m-Bootes. Die Bauweise selbst beeinflußt natürlich die benötigten Arbeitsstunden. Ein einzelner Abzug nach dem Blockverfahren bedingt ein verhältnismäßig arbeitsintensives Modell, dafür spart man aber wieder Arbeitszeit gegenüber anderen Verfahren beim Rumpfbau ein. Der zweite und dritte Abzug desselben Bootes von diesem Block oder nach einer anderen Bauweise, wird sehr viel weniger Arbeitszeit verschlingen.

Um mit der Arbeitszeitschätzung voranzukommen, ermittelt man am besten, wieviel Zeit man braucht, um 1 m^2 des Rumpfes, des Decks und der Einrichtung fertigzustellen und multipliziert diese Zahlen mit den tatsächlichen Oberflächen. Man darf außerdem nicht vergessen, die Zeit für das Aufschnüren und das Aufsetzen der Mallen mit einzubeziehen. Dann folgen die Arbeitszeiten für die Installation der verschiedenen notwendigen Anhänge wie Ruder, für die Maschine und für die Beschläge. Schließlich kommt noch die Zeit hinzu, um das Boot fahrbereit zu machen und zu Wasser zu lassen.

Im Durchschnitt braucht man bei Booten bis zu 9 m Länge (30 Fuß) etwa 20 Stunden pro m^2, wenn eine eigearbeitete Mannschaft aus Fachleuten am Werk ist. Dieser Wert erhöht sich auf mehr als 30 Stunden, wenn das Boot 12 m lang ist (40 Fuß). Baut man dieses Boot nach der Blockmethode, kommt noch einmal ein Wert von 10 Stunden pro m^2 hinzu, der sich allerdings um 6 Stunden pro m^2 verringert, da der eigentliche Rumpfbau schneller vonstatten geht. Immerhin bedeutet das 4 Stunden pro m^2 zusätzlich. Die Zeit, die man für das Deck benötigt, wird etwas niedriger angesetzt werden können, hängt aber sehr von dem Schwierigkeitsgrad des Aufbaus und der Plicht ab.

Was man unter Einrichtung versteht, kann von spartanisch bis luxuriös reichen. Aus diesem Grund wird auch der Zeitaufwand sehr unterschiedlich sein. Normalerweise setzen wir die Arbeitszeit als Funktion der Rumpfoberfläche an, und abhängig davon, wie schwierig die Arbeit eingeschätzt wird, rechnen wir mit 15 – 25 Stunden pro m^2 Rumpfoberfläche für den Innenausbau. Eine präzisere Methode besteht natürlich darin, daß man jedes Bauteil einzeln erfaßt und die Zeiten schätzt, die man für seine Fertigstellung braucht. Das ist trotz allem nicht so einfach, denn selbst die erfahrensten Bootsbauer haben ihre Schwierigkeiten, vorrauszuschätzen, wie lange es dauert, komplexe Teile wie z.B. die Pantry, Schränke oder Kojen zu bauen.

Einige Arbeiten verschlingen einen so hohen Zeitaufwand, daß man sie separat planen und schätzen muß. Für den Einbau bzw. das Anbringen der Decksbeschläge einschließlich der Seereling, Bug- und Heckkorb, der Winden, Genuaschinen und Klampen kann man bei einem Rennboot bis zu 10 Stunden pro m^2 Decksfläche ansetzen. Richtwerte für das Anbringen von Kiel, Ruder und elektronischer Ausrüstung gibt es nicht. Da diese Bauteile so sehr differieren, schlagen wir vor, daß man jedes Teil hinsichtlich seiner Anbringung genau durchdenkt und dann seine Schätzung zu Papier bringt.

Sehr zeit aufwendig ist auch der Einbau der Maschine und der Tanks, das Verlegen der Leitungen der Elektoinstallation und der Seeventile. Hierfür muß man mehr als 100 Stunden ansetzen, abhängig vom Schwierigkeitsgrad.

Die Position „Indienststellen“ umfaßt den Transport des Bootes aus der Werkstatt, das Zuwasserlassen sowie das Aufriggen oder Fertigmachen zum Gebrauch. Es ist fast unvermeidlich, daß irgendetwas nicht ganz nach Plan funktioniert und daß man hier und da noch etwas nachbessern oder justieren

muß. Das kann eine ganz erhebliche Zeit in Anspruch nehmen, deshalb sollte man dem Beispiel der professionellen Bootsbauer folgen und hierfür noch eine gewisse Zeit mit in die Kalkulation einbeziehen.

Nachdem wir nun die verschiedenen Zeitschätzungen aufgelistet haben, wollen Sie vielleicht – ähnlich wie beim Material die Position „Verschnitt“ – auch für die Zeit gewisse Toleranzen einrechnen. Wenn wir solche Zeitvorgaben errechnen, schlagen wir 20% auf. Das ist die Zeit, die die Arbeiter normalerweise mit Diskussionen über ihre Arbeit verbringen. Es ist keineswegs vergeudete, unproduktive Zeit, aber es ist eben die Summe vieler Minuten, die sie tatsächlich nicht mit handwerklichem Bootsbau verbringen. Wer alleine arbeitet, verbraucht ebenfalls eine solche unproduktive Zeit, indem er über seine Arbeit nachdenkt oder versucht, kleine Probleme zu lösen, bevor er den nächsten Handgriff macht.

Man sollte sehr wohl einen Termin für die Fertigstellung des Bootes setzen und ebenfalls Zwischentermine für jede einzelne der geplanten Arbeiten. Sehr hilfreich ist auch ein Tage- oder Stundenbuch, um die Zeit, die man wirklich für eine Arbeit benötigt hat, zu dokumentieren und auch, um den Fortschritt festzuhalten. Es lohnt sich, den Zeitplan wöchentlich oder monatlich mit der Schätzung zu vergleichen. Das kann einmal hilfreich sein, um die Effektivität zu vergrößern, aber auch, um den Bau im Hinblick auf das angesteuerte Ziel zu vollenden und die Arbeitsmoral hochzuhalten.

Das Abschätzen von Materialkosten und Arbeitszeit ist nicht einfach und es ist durchaus nicht wissenschaftlich. Es ist sehr unwahrscheinlich, daß jemand die Kosten eines Bootes auf den Euro genau vorrausgesagt hat. Wenn die Schätzungen des Materials um nicht mehr als 10% und die der Arbeitszeit um nicht mehr als 20% neber der Realität liegen, dann war das schon eine ausgezeichnete Eingrenzung

Selbst wenn der Plan 30% daneben liegt, ist es immer noch ein guter Rahmen für Planung, Bau und Finanzierung. Ohne jede Schätzung muß man sich blind auf Vermutungen und auf sein Glück verlassen. Sowohl für den Einkauf der Materialien und den Bootsbau selbst sollte man alle Quittungen, Stundenbücher U.S.W. aufbewahren und diese mit den Planungen laufend vergleichen. Das ist eine lehrreiche Übung, und für diejenigen, die vielleicht irgendwann einmal wieder ein Boot bauen, sind diese Notizen von großem Wert, wenn sie sich wieder an die Planung machen.

Kapitel 4

Werkzeuge und Werkstatt

Wer will, kann ein Boot in einer kleinen Kammer bauen mit nichts anderem als einem krummen Messer. Andererseits kann man natürlich, wenn man ein größeres Projekt vorhat, eine solide Bauhalle erstellen und sie mit Werkzeugen im Wert von einigen Tausend DM ausstatten. Wir schlagen vor, daß man sich irgendwo zwischen diesen beiden Extremen bewegt.

Feste Regeln über Werkstätten und Werkzeuge gibt es nicht. Wir sind der Meinung, daß man in den meisten Fällen mit dem Kauf der Werkzeuge warten sollte, bis man sie wirklich benötigt und daß man andererseits Boote unter irgendeiner Form von Schutzdach bauen sollte. In diesem Kapitel geben wir Hinweise für die Zusammenstellung der notwendigen Werkzeuge und für die Errichtung von Werkstätten. Dies ist als Hilfestellung für Ihre eigene Entscheidung gedacht.

Gute Handmaschinen und eine gute Werkstatt sparen Zeit und erhöhen den Wirkungsgrad. Professionelle Holzverarbeiter, die wissen, daß die Arbeitszeit erheblich kostenintensiver ist als das Material, vertreten natürlich die Meinung, daß arbeitszeitsparende elektrische und Druckluftwerkzeuge sich schnell amortisieren. Die Kosten, um eine gut beleuchtete, beheizte Werkstatt mit entsprechender Arbeitsfläche und Platz für das Material zu unterhalten, werden gerechtfertigt durch die höhere Produktivität und den geringeren Ärger.

Der Nicht-Fachmann wird wahrscheinlich mit einem Kompromiß leben müssen. Teure Maschinenwerkzeuge und eine ideale Werkstatt sparen Zeit. Da der Amateur-Bootsbauer für seine Arbeit aber nicht zahlt, spart er auch kein Geld durch diese Investition. Andererseits will man natürlich mit den Ausgaben auch nicht so knausern, daß das ganze Projekt zu einer mehr als mühseligen Übung gerät, indem man sich mit unbrauchbarem Werkzeug abplagt oder in einer zu engen Werkstatt ständig über irgendetwas hinwegsteigen muß. Bootsbau macht sehr viel mehr Spaß, wenn man gute, scharfe Werkzeuge besitzt und eine ordentliche Werkstatt.

Die finanzielle Situation und natürlich auch der persönliche Geschmack bestimmen letzten Endes die Ausstattung mit Werkzeugen und die Werkstatt selbst, in Abhängigkeit von Zeit und Geld. Mit gewissen Einschränkungen kann man Boote genauso leicht im Wohnzimmer bauen wie in einem eigens dafür eingerichteten Schuppen. Ihre Flexibilität und Ihr Einkommen werden also den Arbeitsplatz mit bestimmen. Für denjenigen, der vorhat, mehr als ein Boot zu bauen, wird es sich auszahlen, in Werkzeuge und Vorrichtungen etwas mehr zu investieren. Wenn aber die Mittel beschränkt sind und das Interesse nicht so eindeutig, kann man ein Boot auch mit einem sehr begrenzten Satz von Werkzeugen vollenden.

Werkzeuge

Die Bootsbaumethoden, die wir anwenden, nämlich mit Holz und WEST SYSTEM Epoxid-Harz, benötigen weniger Werkzeuge als die traditionellen Bootsbautechniken. Wir brauchen kaum so seltene Werkzeuge wie Dechsel und Schinder. Tatsächlich ist ja einer der großen Vorteile der Holz/Epoxid Komposit-Bauweise, daß man mit recht wenigen Hand-und Maschinenwerkzeugen auskommt.

Im Laufe der Zeit haben wir in unserer Werkstatt mehr Hand-und Maschinenwerkzeuge gesammelt, als wir wohl brauchen werden – wie die meisten Bootsbauer. Einige der Handwerkszeuge sind allerdings unverzichtbar. Andere haben wir gewählt, da wir nun einmal Fachleute sind und es für uns wichtig ist, die Arbeitszeiten im Griff zu halten. Nach der nun folgenden Diskussion über Werkzeuge und ihren Gebrauch, sollten Sie in der Lage sein, zu entscheiden, was Sie selbst davon benötigen.

Man sollte mehrere Dinge berücksichtigen, wenn man seine Werkzeuge zusammenstellt. Die meisten von ihnen werden in sehr unterschiedlichen Qualitäten für Fachleute und Bastler hergestellt. Hochleistungs-Maschinenwerkzeuge sind erheblich teurer als die für den Bastler angebotenen Modelle, aber sie versagen nicht so häufig und sie haben eine längere Lebensdauer. Das gleiche gilt auch für Handwerkszeuge. Der beste Weg, um herauszufinden, welche Werkzeuge und welche Qualität man braucht, besteht darin, einfach mit der Arbeit zu beginnen. Man sollte sich die Kataloge im Hinblick

Bild 4.1 – Mindest-Werkzeug-Satz: (1) verstellbarer Anschlagwinkel; (2) Wasserwaage; (3) Schere; (4) Schmiegenstock; (5) Bohrersatz; (6) Zentrumsbohrer; (7) Elektrische Bohrmaschine; (8) Putzhobel; (9) Zirkel; (10) Maßband; (11) Anreißschnur; (12) Latthammer; (13) Schraubenzieher; (14) Raspel; (15) Teppichmesser; (16) Holzstichsäge; (17) Stecheisen; (18) Krampenzieher; (19) Klammer-Pistole.

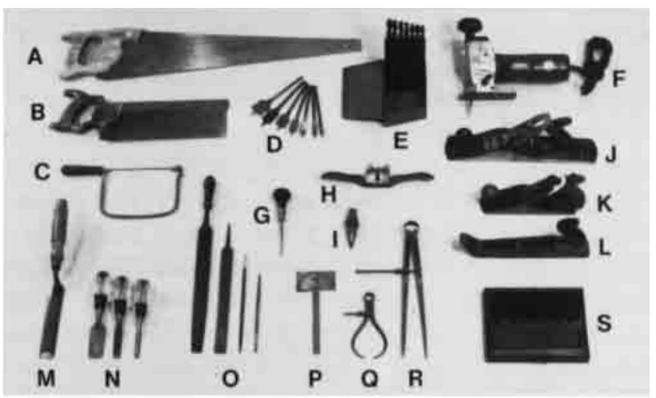


Bild 4.2 – Erweiterter Werkzeugsatz: (A) Fuchsschwanz; (B) Fuchsschwanz für Gehrungslade; (C) Bügelsäge; (D) Zentrumsbohrer, großer Satz; (E) Spiralbohrer, großer Satz; (F) elektrische Stichsäge; (G) Ahle; (H) Ziehklingen-Hobel; (I) Lot; (J) Schrupphobel; (K) Schlichthobel; (L) Raspelhobel; (M) Stecheisen, gekröpft; (N) Stecheisen-Sortiment; (O) Feilen- und Raspel-Sortiment; (P) Winkelmesser; (Q) Taster; (R) Zirkel; (S) Abziehstein.

auf die Preise sehr genau durchsehen und sein Geld mit Umsicht investieren.

Wir, als professionelle Bootsbauer , können teure Maschinenwerkzeuge durch den Bau mehrerer Boote amortisieren. Die Zuverlässigkeit der Werkzeuge ist für uns ein wesentlicher Gesichtspunkt bei der Auswahl, da ein Ausfall der Werkzeuge für uns recht teuer werden kann. Wir sind also bereit, sozusagen einen Aufschlag für unsere Ausrüstung zu

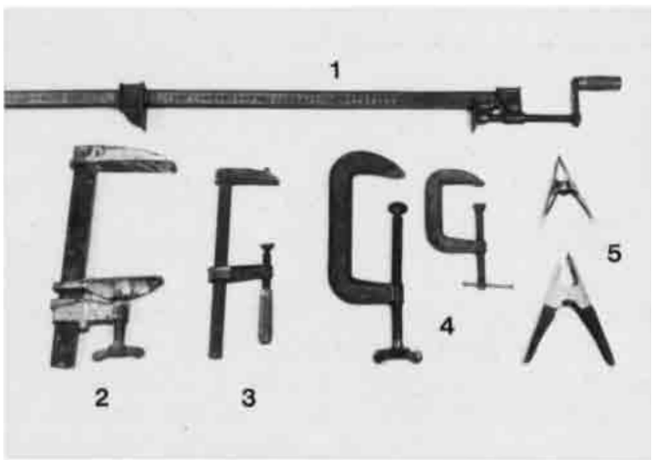


Bild 4.3 – Schraubzwingen: (1) Schraubknecht; (2) Schraubzwinge, schwere Ausführung; (3) Schraubzwinge; (4) C-Schraubzwinge; (5) Feder-Zwingen.

zahlen, weil sie eben einem harten Gebrauch unterworfen ist und lange Zeit durchhalten muß.

Für den Amateur gibt es ganz andere Kriterien bei der Auswahl. Er beansprucht die Werkzeuge nicht so stark, wenn er z.B. nur ein Boot pro Jahr baut. Wenn Ihre elektrische Bohrmaschine einmal ausfällt, können Sie sicherlich an einem anderen Teil des Bootes weiterarbeiten, bis die Maschine repariert ist. Wenn man die Preisunterschiede der Werkzeugqualitäten betrachtet, so rechtfertigt die mögliche Unbequemlichkeit es nicht wirklich, daß man Werkzeuge extrem hoher Qualität kauft. Etwas billigere werden Ihnen den gleichen Dienst erweisen.

Handwerkzeuge sind eine etwas andere Sache. Wir schlagen vor, daß Sie es genauso machen wie auch wir und die besten Stemmeisen und Hobel kaufen, die Sie in Ihrem Werkzeugladen bekommen können. Halten Sie die Werkzeuge scharf und in gutem Zustand und erfreuen Sie sich an ihrem Gebrauch. Ausgehärtetes Epoxidharz ist härter als Holz, für das nun einmal gute Stemmeisen erfunden wurden, so daß Sie mitunter den Wunsch haben werden, Ihre Investition in der Form zu schützen, daß Sie einige Werkzeuge niedrigerer Qualität mitbenutzen. Kaufen Sie auf jeden Fall gute Schraubzwingen, da diese eine Menge Ärger ersparen.

Der Bau eines kleinen Bootes kann reibungslos mit einer recht begrenzten Anzahl von Werkzeugen und einigen einfachen Sicherheitsvorrichtungen vonstatten gehen. Abb.1 zeigt die minimale kostengünstige Zusammenstellung von Werkzeugen. Selbst für den Bau eines 2 1/2 m langen Prahms wird man ohne sie nicht auskommen. Abb.2 zeigt

eine schon etwas großzügigere Sammlung mit der man auch durch ein größeres Projekt gut hindurchkommt. Man könnte mit den Werkzeugen in Abb.1 beginnen und nach und nach das Übrige dazukaufen. Die meisten der abgebildeten Werkzeuge sind gut bekannt und in Werkzeugläden auch erhältlich.

Der Bau mit WEST SYSTEM Epoxid erfordert ein paar spezielle Werkzeuge, von denen man einige kaufen kann, andere selber herstellen muß. Spritzen, Rollen, Spachtel, Schüssel und Becher bekommt man in den normalen Läden oder kann sie auch bei uns beziehen. Hinweise für das Herstellen von nützlichen Vorrichtungen werden in diesem Buch an mehreren Stellen gegeben.

Drei oder vier gut gewählte Handmaschinen erleichtern die Arbeit und machen größere Maschinen überflüssig. Eine Stichsäge sägt nicht ganz so präzise wie eine Bandsäge, aber man kann mit ihr fast die gleichen Arbeiten erledigen. Eine gute elektrische Bohrmaschine mit einem 8 oder 10 mm Futter und den entsprechenden Bohrern und dem sonstigen Zubehör ist für viele Arbeiten sinnvoll. Falls man öfter einmal Sperrholz schäften muß (bis zu 12,5 mm Dicke), erleichtert eine elektrische Handkreissäge mit etwa 180 mm Blattdurchmesser, die mit einer Schäftvorrichtung ausgestattet ist, die Arbeit ganz erheblich. Eine Handkreissäge kann auch auf eine Bank gespannt werden und damit als Tischkreissäge benutzt werden. Ein Winkelschleifer mit einem Satz Schaumteller beschleunigt die Feinarbeiten an der Oberfläche und das Polieren. Falls Sie diese Werkzeuge für den Bau eines Bootes gekauft haben und später feststellen, daß Ihr Interesse an Holzarbeiten nachläßt, können Sie diese üblicherweise wieder verkaufen und damit einen Teil der Investition zurückerhalten.

Die erste größere Anschaffung, über die man nachdenken sollte, ist eine Tischkreissäge. Dieses vielseitige Werkzeug benutzt man in erster Linie dazu, Holz genau auf Maß zu sägen, aber es kann genauso gut benutzt werden, um Schmiegen herzustellen. Eine gute Tischkreissäge kann als Fügemaschine benutzt werden und man kann mit ihr ein geworfenes Brett wieder in exakte Maße bringen und, wenn sie mit einer Gehrungsvorrichtung ausgestattet ist, kann man auch präzise Diagonalschnitte mit ihr ausführen. Mit einem Fräsaufsatz oder anderen Zusatzgeräten kann die Kreissäge auch als Fräse benutzt werden.

Irgendwann einmal, entweder schon jetzt oder in Zukunft, werden Sie vielleicht über die Anschaffung anderer Maschinenwerkzeuge nachdenken. Die jetzt folgende Auflistung unserer Werkstattausrüstung kann Ihnen bei der Entscheidung helfen, ob Sie Ihr Werkzeug aufstocken sollen oder nicht.

Aufstellung der Maschinenwerkzeuge der Firma Gougeon Brothers

Die Auflistung der Werkzeugausrüstung, die wir in unserer Werkstatt benutzen, soll eine Vorstellung davon geben, welche Möglichkeiten dem modernen Bootsbauer heute zur Verfügung stehen. Keinesfalls wollen wir dem Amateurbootsbauer vorschlagen, alle diese Werkzeuge ebenfalls zu beschaffen.

Diese Liste ist in Untergruppen unterteilt, die sich nach ihrem Gebrauch ergeben und nicht nach ihrer Wichtigkeit. Die Wahl des Werkzeugs ist sicherlich eine persönliche Sache: Als wir diese Liste durchsprachen, stellten wir fest, daß wir durchaus nicht immer über jedes einzelne Teil gleicher Meinung waren. Wir behaupten nicht, daß diese Werkzeuge die besten auf dem Markt sind, und es ist auch nicht unsere Absicht, hier bestimmte Markennamen oder Produkte vorzuschlagen. Da sich die Modellbezeichnungen schnell ändern, haben wir keine Typenbezeichnungen genannt.

Diese Werkzeuge haben in unserer Bootswerft wirklich sehr viel Arbeitszeit eingespart. Viele von ihnen sind von hoher Qualität und brauchen für ihre Benutzung besondere Elektroanschlüsse. Einige sind druckluftbetriebene Werkzeuge und benötigen also einen Kompressor. Wer Druckluftwerkzeuge kauft, sollte sich über ihren Betrieb vorher genau informieren. Für den Hobbybootsbauer sind die Werkzeuge wahrscheinlich in der Leistung zu stark, abgesehen davon, daß sie alle teuer sind. Man sollte beachten, daß wir eine Reihe von Werkzeugen benutzen, die in Karosseriewerkstätten üblich sind.

Sägen

Elektronische Stichsäge: Die Stichsäge ist eines der notwendigen Bootsbauwerkzeuge. Das Modell, das wir benutzen, kann sehr viel mehr als die meisten und ist etwa drei- bis viermal so teuer. Der Vorschub des Sägeblattes kann gesteuert werden und eine sehr präzise Geschwindigkeitskontrolle macht die Säge für viele Materialien anwendbar. Die Säge besitzt eine Öltropfvorrichtung, um auch rostfreien Stahl und andere harte Materialien zu trennen, und sie hat einen sehr exakten Sägeschnitt. Gerade bei Booten, die naturlackiert werden sol-

Bild 4.4 – Polier-Schwingschleifer (Fabr. Mikita).

Bild 4.5 – Elektrische Hobelmaschine, hier für das Glätten eines Profilmastes benutzt (Fabr. Skil).

Bild 4.6 – Polierscheibe mit festem Schaumteller (Fabr. Black & Decker).

len, hat diese Säge ihren Vorteil, da die Führung verhindert, daß Sperrholz an den Kanten ausreißt.

Elektrische Handkreissäge mit 180 mm Durchmesser: Man benutzt diese Säge, um schwere Massivhölzer oder auch Sperrholzplatten zu schneiden, die zu unhandlich sind, um sie auf der Tischkreissäge oder mit der Bügelkreissäge zu bearbeiten. Außerdem nuten wir mit ihr Spanten und Decksbalken. Wir haben verschiedene Sägen dieses Typs und eine von ihnen ist immer mit einem Schäft-Zusatz ausgerüstet, der Schäftungen von 8 : 1 bei Sperrholz bis 12 mm Dicke gestattet.

Plattenkreissäge mit 115 mm Durchmesser: Mit dieser Maschine lassen sich besonders gut dünnes Sperrholz und Furnier schneiden, aber sie ist nicht unbedingt notwendig.

Tischkreissäge mit kippbarem Sägeblatt, 250 mm: Die Firma ROCKWELL stellt die besten – und teuersten – Sägen dieses Typs her. Für den Nicht-Bootsbauer mag ein billigeres Fabrikat praktischer sein. Wichtig ist eine solide Kippvorrichtung und eine gute Lagerung der Welle. Eine leicht regulierbare Schutzvorrichtung ist unbedingt notwendig. Wir besitzen noch eine Tischkreissäge von 360 mm Blattdurchmesser, mit der wir besonders unhandliche Hölzer schneiden, aber sie wird nicht oft benutzt.

Bandsäge, 360 mm Schnitthöhe: Nach der Tischkreissäge ist die Bandsäge die wichtigste stationäre Maschine in der Werkstatt. Mit ihr kann man die saubersten Kurven und Schmiegen schneiden. Wir benutzen auch noch eine ältere, größere Bandsäge und haben eine zusätzliche Bandsäge für Metall.

Radialarm-Trennsäge, 360 mm Blattdurchmesser: Diese Säge ist in unserer Werkstatt nicht übermäßig wichtig, aber mit ihr lassen sich gut Stringer ausklinken (mit zusätzlicher Schablone) und präzise Gehrungen schneiden.

Hobelmaschinen, Polierscheiben und Schwingschleifer

Elektrische Polierscheibe, 180 mm Durchmesser: Wir benutzen diesen Winkel-Polierschleifer mit verhältnismäßig harten Scheiben, wenn wir an großen Flächen wie Rümpfen und Decks arbeiten und mit zwei verschiedenen Sorten sehr weicher Scheiben für die Inneneinrichtung und auch für leistengeplankte Boote. Die Geschwindigkeit sollte 2000

Bild 4.7 – Polier-Winkelschleifer mit Schaumteller. Wir befestigen auf dem Schleifteller ein 1,5 mm starkes Birkensperrholz. Die Oberfläche ist damit noch flexibel genug, um flachen Krümmungen zu folgen. Sehr gut für das Schleifen von Oberflächen unterschiedlicher Härte, wie WEST SYSTEM Harz und Spachtelmassen (Fabr. Black & Decker).

Bild 4.8 – Winkelschleifer, druckluft-betrieben (Fabr. DAQ).

U/min. nicht überschreiten, weil größere Geschwindigkeiten das Epoxidharz stark erhitzen. Wir sind der Meinung, daß diese Maschine sehr viel Arbeitszeit spart.

Schmaler Schwingschleifer, luftdruckgetrieben: Dieses Werkzeug, das man üblicherweise in Karosseriewerkstätten findet, benutzen wir zum Straken. Wir haben es etwas umgebaut, indem wir die ursprünglich 350 x 50 mm messende Schleifplatte durch eine 560 x 115 mm große ersetzt haben. Wir halbieren das normale Schleifpapier, das dann auf der Fläche von Klettenband gehalten wird. Mit dieser langen Auflagefläche lassen sich sehr gut Rümpfe und Decks nachstraken. Den Endschliff erledigen wir dann per Hand.

Winkelschleifer, druckluftgetrieben: Noch ein Werkzeug aus der Karosseriewerkstatt. Dieser Winkelschleifer ist leicht, wodurch man ihn sehr gut für komplizierte Ecken und ungleichmäßige Oberflächen, wie z.B. beim Innenausbau benutzen kann. Wir verwenden ihn meistens für den Endschliff mit 180er oder noch feinerem Schleifpapier, obwohl er sich mit der entsprechend groben Körnung auch für gröbere Arbeiten eignet.

Blockhobel: Diese elektrische Hobelmaschine beschleunigt die Arbeit, wenn es darum geht, an gekrümmten Oberflächen relativ viel Material wegzunehmen oder auch um die Schmiege bei Spanten, Schotten und Decksbalken nachzupassen.

Hochleistungswinkelschleifer: Dieses ist der beste Winkelschleifer , den wir bisher gefunden haben, einmal weil man mit ihm sehr effektiv arbeiten kann und weil er leicht zu warten ist. Wir benutzen ihn mit 80er und feinerem Schleifpapier, sowohl für Holz, wie auch für harzbeschichtete Oberflächen.

Bandschleifer, 1200 mm und Winkelschleifer/ Polierscheibe, 300 mm Durchmesser: Wir benutzen diese stationäre Maschine, um Holz und Metall auf sehr enge Toleranzen abzuarbeiten.

Winkelschleifer für Feinarbeiten: Diese Maschine ist klein und leicht, man kommt mit ihr also gut auch in Ecken hinein. Sie läßt sich gut mit einer Hand führen. Die quadratische Schleiffläche mißt etwa 100 x 100 mm.

Elektrische Hobelmaschine: Dieses Werkzeug eignet sich besonders, um große Oberflächen zu hobeln, wie Kiele und Stringer, bei denen eine Menge Material abgetragen werden muß. Die lange Auflagefläche (450 mm) hilft beim Straken der Oberfläche und erspart Arbeitszeit.

Elektrische Bandschleifmaschine, 100 mm: Dieser Bandschleifer steht zwar die meiste Zeit im Regal, ist aber sehr nützlich, wenn Schäftungen und andere Oberflächen, die absolut glatt sein müssen, nachgeschliffen werden. Um dieses Werkzeug richtig zu benutzen, muß man schon eine Menge Geschicklichkeit aufbringen.

Klammerpistolen, Tacker und Nagler

Klammern sind billiger als andere Befestigungselemente und sie verlangen auch weniger Arbeitsaufwand. Es gibt eine ganze Reihe von Firmen, die ausgezeichnete Werkzeuge hierfür anbieten. Die Entscheidung für oder gegen ein bestimmtes Fabri-

kat sollte davon abhängig gemacht werden, ob man Klammern in den richtigen Größen und im gewünschten Material bekommt. Einige Hersteller bieten nur bestimmte Größen und Typen von Klammern an. Dieses muß man prüfen, bevor man sich entscheidet.

Klammerpistole, druckluftbetrieben: Diese Klammerpistole verschießt Klammern mit breitem Rücken zwischen 6 und 15 mm Länge. Wir benutzen sie hauptsächlich zum Anpressen der Holzklötzchen, wenn wir formverleimte Rümpfe bauen, daneben auch für Sperrholz bis 6 mm Dicke.

Bild 4.9 – Schwingschleifer, druckluft-betrieben mit 355 x 100 mm großer Schleiffläche (Fabr. Chicago Pneumatic).

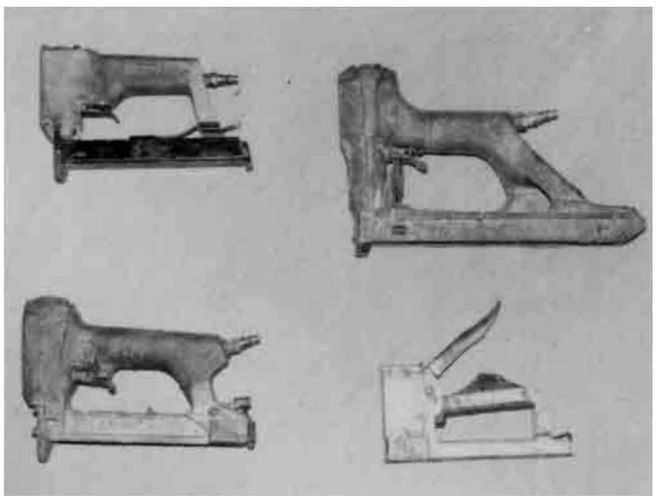


Bild 4.10 – Klammer-Pistolen und Tacker (Fabr. Duo-Fast). Im Uhrzeigersinn: Druckluft-K1ammerpistole; Druckluft-Tacker, schwere Ausführung; Hand-Tacker; Druckluft-Tacker, leichte Ausfühung.

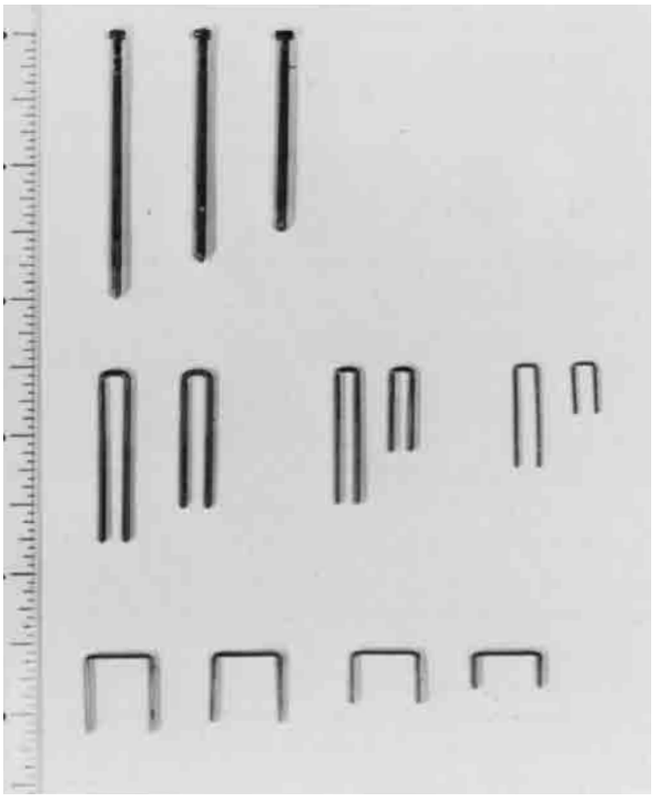


Bild 4.11 – Oben: Drahtstifte; Mitte: Klammem mit schmalem Rücken; unten: kurze Klammem mit breitem Rücken.

Nagler, druckluftbetrieben: Dieses Werkzeug verschießt und versenkt Drahtstifte bis zu 50 mm Länge. Wir benutzen ihn hauptsächlich für den Vorrichtungsbau und für Hilfskonstruktionen.

Tacker, druckluftbetrieben: Dieses Werkzeug verschießt dünne Drahtklammern bis zu 16 mm Länge mit schmalem Rücken. Die Löcher sind sehr klein und lassen sich leicht auffüllen. Wir benutzen ihn oft für Innenarbeiten im Boot.

Tacker, elektrisch betrieben: Elektroversion des vorher beschriebenen Werkzeugs.

Tacker, schwere Ausführung: Dieses Gerät verschießt starke Klammern bis zu 25 mm Länge. Es eignet sich besonders gut für Klammern aus Bronze oder Monel, wenn es darum geht, Stringer und z.B. Schwertkästen und andere größere Bauteil zu befestigen.

Fräsen

Schwere Fräse: Wegen ihrer hohen Leistung eignet sich diese Fräse für grobe Arbeiten, bei denen viel Holz abgetragen werden muß. Wir benutzen sie zum Schlitzen, Ausklinken und Anschrägen.

Leichte Fräse: Besonders geeignet, um präzise Konturen bei Sperrholz oder Furnieren zu erzeugen. Eine wälzgelagerte Zusatzführung erleichtert diese Arbeit.

Verschiedene Werkzeuge

Heißluftpistole: Wir besitzen mehrere dieser Geräte und benutzen sie, um die Härtung des Epoxidharzes zu beschleunigen, besonders bei kalter Witterung. Zu empfehlen sind Modelle mit 400°C. Aber man muß die Heißluftpistolen mit Vorsicht benutzen, um nichts in Brand zu stecken.

Ständerbohrmaschine: Wir benutzen sie, um Holz und Metall exakt zu bohren.

Oberfräse: Wenn es um ausgedehnte Arbeiten geht, wie z.B. das Runden von Stringerkanten, tut diese Maschine gute Dienste.

Dicktenhobel: Diese Maschine ist ein „Muß", wenn man rohes Schnittholz kauft, das viel Oberflächenbearbeitung erfordert. Sonst muß man diese Arbeit von einem Tischler machen lassen. Wir benutzen den Dicktenhobel auch, um Sägeschnittspuren auf den Planken zu entfernen.

Schleifbock: Scharfe Werkzeuge sind Voraussetzung für eine zügige Fertigung. Ein Schleifbock mit den richtigen Steinen ist also für jede Werkstatt eine Notwendigkeit. Und mit stumpfen Werkzeugen macht die Arbeit auch keinen Spaß.

Schlichthobelmaschine, 150 mm Breite: Diese Maschine eignet sich gut, um Sägeschnittspuren von den Planken wegzunehmen.

Spenderpumpe für WEST SYSTEM Harz: Bei jeder Arbeit von einigem Ausmaß ist eine Dosierpumpe eine große Hilfe. Unsere Spenderpumpen mischen Harz und Härter im richtigen Verhältnis, sie sparen Zeit und verringern den Verlust.

Die Bootswerkstatt

Bootsbauer haben sich sehr erfindungsreich gezeigt, wenn es darum ging, einen entsprechenden Raum für ihre Aktivitäten zu finden. Wir haben Scheunen und Wohnzimmer gesehen, die entweder auf Dauer oder vorübergehend zur Bootsbauwerkstatt umfunktioniert wurden – mit unterschiedlichem Erfolg.

Der Arbeitsraum wird mitbestimmt von dem zur Verfügung stehenden Geld, von der Größe des Bootes und von der Frage, ob man nun einen dauerhaften Arbeitsplatz braucht oder nicht.

Man sollte gar nicht erst versuchen, ein Boot ohne Schutzdach zu bauen. Holz wird nun einmal durch Regen, Schnee und Sonnenlicht beeinträchtigt. Werkzeuge, die man im Freien liegen läßt, können rosten oder auch verschwinden und die Alternative hierzu, nämlich sie jeden Abend mit ins Haus zu nehmen, ist einfach zu zeitaufwendig. Außerdem wird der Bootsbau im Freien durch die jeweilige Wetterlage bestimmt, und der Arbeitstag ist zuende, wenn es dunkel wird, auch wenn es erst sechs Uhr abends ist. WEST SYSTEM Harze können zwar den meisten Wetterbedingungen widerstehen, aber ihre Wirksamkeit verringert sich durch nicht sachgerechte Lagerung und auch dann, wenn sie in kaltem Wetter oder mit nassem Holz zusammen verarbeitet werden.

Die Bootswerkstatt sollte sorgfältig geplant werden. Sie sollte Ihnen, dem Rumpf und den Werkzeugen einen wirksamen Schutz gegen Witterungsunbill geben. Der Raum sollte groß genug sein, um Boot, Holz und Werkzeuge aufzunehmen und dazu noch etwas zusätzliche Fläche für das eigentliche Arbeiten und den Transport der Teile bieten. Die Werkstatt muß warm und hell sein, wenn die Arbeit erstklassig sein soll und sie muß den normalen Sicherheitsanforderungen genügen. Außerdem sollte man daran denken, daß man nicht mit den Nachbarn in Konflikt gerät. Wer eventuell daran denkt, später einmal ein größeres Boot zu bauen, sollte auch die Erweiterungsmöglichkeiten bedenken.

Gleichgültig, ob Sie nun den Bootsschuppen kaufen, mieten oder selber bauen, die Bodenfläche ist das wichtigste Kriterium. Wenn man ungehindert arbeiten will, braucht man wenigstens die doppelte Fläche, die der Rumpf selbst einnimmt. Die Erbauer von Mehrrumpf-Booten, die ja üblicherweise einen Rumpf nach dem anderen bauen, benötigen eben die doppelte Fläche des größten Rumpfes (bei einem Trimaran). Diese Grundregel

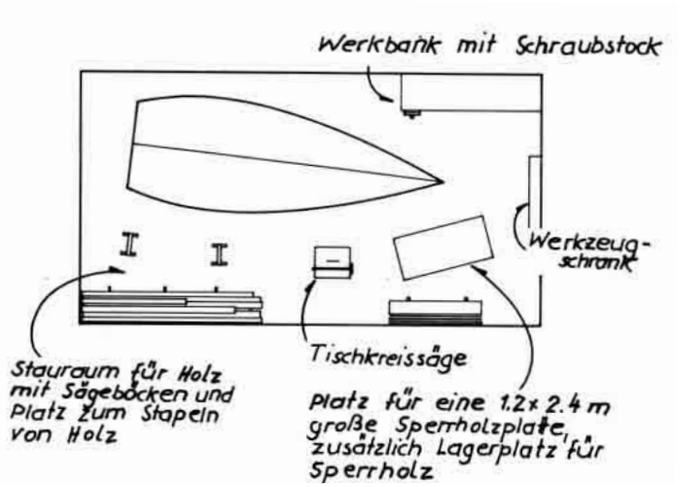

Werkbank mit Schraubstock
Werkzeug-schrank
Tischkreissäge
Stauraum für Holz mit Sägeböcken und Platz zum Stapeln von Holz
Platz für eine 1.2 x 2.4 m große Sperrholzplatte, zusätzlich Lagerplatz für Sperrholz

Bild 4.12 – Grundeinteilung eines Bauschuppens für den Selbstbauer. Geeignet für ein Boot von 7,5 bis 9 m Länge.

gewährleistet den Mindestraum für Werkzeuge, Hobelbank, eine Fläche zum Aufschnüren, die Anfertigung kleinerer Innenbauteile und das Lagern des Holzes. Wer über mehrere Maschinen verfügt, braucht natürlich etwas zusätzliche Fläche.

Manchmal ist es ganz sinnvoll, die Arbeitsbereiche in verschiedene Räume aufzuteilen. In Gegenden mit kalter Witterung könnte es z.B. sinnvoll sein, einen großen Schuppen für den eigentlichen Rumpfbau zu benutzen und eine kleinere Werkstatt – Keller, Bastelraum oder Garage – für die übrigen Arbeiten. Mit einiger Planung kann man die großen Arbeiten im Bootsschuppen vorziehen und die kleineren solange aufsparen, bis die Heizperiode beginnt, damit man dann in der kleinen, beheizten Werkstatt weiterarbeiten kann. Bei Mehrrumpf-Booten empfiehlt es sich, die Rümpfe drinnen zu bauen und im Freien zu montieren, da man sonst ungewöhnlich große Arbeitsräume benötigen würde. Die Aufteilung der zur Verfügung stehenden Grundfläche wirkt sich sehr auf den Arbeitsfortschritt aus. Jedes Maschinenwerkzeug braucht ausreichend Freiraum, wenigstens 4 – 6 m sollte man an jedem Ende zur Verfügung haben, und etwa 1,5 m auf jeder Seite, wenn man eine Tischkreissäge oder einen Abrichter benutzt. Ein Teil dieser Fläche kann auch von einer Bandsäge mit belegt sein, da man sicher nicht beide Maschinen zur gleichen Zeit benutzt. Abb.12 zeigt die typische und sinnvolle Auslegung eines solchen Arbeitsraumes. Nicht vergessen darf man, daß man um beide Enden des Bootes herumgehen können muß.

Da eine unordentliche Werkstatt nicht nur unbefriedigend sondern auch gefährlich sein kann, sollte man der Sicherheit einige Gedanken widmen, wenn man den Schuppen baut. Lösungsmittel und Farben als besonders feuergefährliche Stoffe gehören in einen metallumschlossenen Raum oder Behälter. Außerdem dürfen brennbare Stoffe auch nicht in der Nähe von Öfen oder Heizlüftern gelagert werden. Um das Einatmen von Staub und Dämpfen zu vermeiden, muß an die Lüftung gedacht werden. Falls Ihre Kinder ab und zu in die Werkstatt schauen, sollten die Vorsichtsmaßnahmen verdoppelt werden. Ein Schloß vor der Tür wird nicht nur dem Vandalismus vorbeugen, sondern auch besonders neugierige Besucher von den möglichen Gefahren fernhalten.

Die Elektroinstallation der Werkstatt bedarf besonderer Überlegungen. Die installierte Leistung sollte wenigstens 30 A betragen – eventuell noch mehr, wenn man eine sehr aufwendige Beleuchtung eingerichtet hat. Die verlegten Kabel müssen einen ausreichend großen Querschnitt haben und auch die Verlängerungskabel sollen von besonders hoher Qualität sein. Alle Werkzeuge, Verlängerungskabel und die ganze Elektroinstallation sollten zweifach geerdet sein, besonders wenn man auf einem feuchten Untergrund arbeiten muß. Wer Maschinenwerkzeuge nahe am Wasser installiert, kommt ohne einen Fehlerstromschutzschalter nicht aus.

Bootsbauer machen sich oft Gedanken darüber, wie man die Werkstatt am besten heizen kann und wie die Kälte das WEST SYSTEM Epoxid beeinträchtigt. Für die Heizung kann man jede Art von Brennstoff benutzen, solange er kein Brandrisiko darstellt. Wichtig ist, daß das Heizsystem gut belüftet ist. Kohlendioxydemissionen, die besonders häufig bei der Benutzung von Kerosin-Heizgeräten auftreten, sind einerseits gesundheitsgefährdend und beeinträchtigen andererseits die Aushärtung des Harzes (siehe Kapitel 7 über das Arbeiten mit WEST SYSTEM Materialien unter kalten Bedingungen).

Bevor Sie nun mit dem Bau Ihres Bootsschuppens beginnen, müssen Sie sich über die Nachbarn Gedanken machen. Irgendwann werden Sie bestimmt in die Verlegenheit kommen, auch nachts arbeiten zu müssen. Die Frage lautet also: Wird der Lärm Ihrer Maschinen die Nachbarschaft stören? Wenn Sie z.B. Ihre Garage um ein Stück verlängert haben, werden die Nachbarn Einspruch erheben? Wenn Sie das Boot ganz oder teilweise im eigenen Haus bauen wollen, wohin mit dem Staub?

Ein provisorischer Schuppen – eine der Möglichkeiten

Wer weder in der Lage ist, einen Schuppen oder eine Werkstatt für den Bootsbau zu mieten oder zu kaufen, oder es sich nicht leisten will, ein dauerhaf-

Bild 4.13 – Garagen-Anbau (Art Briggs)

tes „Gebäude“ zu errichten, wird sich wohl für einen provisorischen Schuppen entscheiden. Dieser könnte frei stehen oder an ein vorhandenes Gebäude angeschlossen sein. Man kann z.B. Garagen oder Schuppen einfach und schnell vorübergehend mit Anbauten versehen. Wie die Entscheidung auch ausfällt, hängt sehr vom Grundstück und den Gebäuden ab, aber auch von der Größe des Bootes.

Schuppen kann man in sehr verschiedenen Techniken bauen; eine davon empfiehlt sich besonders: Holzlattengerüst mit starker Polyäthylenfolie (PE). Diese Baumethode verlangt nur einen beschränkten Arbeitseinsatz und kann unter kalten wie auch warmen Witterungs bedingungen mit gutem Erfolg benutzt werden. Feste Bauten bieten sicherlich einen besseren Wetterschutz, aber Hallen mit PE-Überzug sind billig und für den Bootsbau ausreichend.

Bevor Sie nun daran gehen, Ihren Schuppen zu bauen, sollten Sie mit Ihren Nachbarn sprechen und auch die örtlichen Bauvorschriften kennen. Kunststoffüberzogene Bauhallen sind nicht gerade sehr hübsch anzusehen, Ihre Nachbarn werden sich also nicht unbedingt darüber freuen und es könnte darüber zu Spannungen kommen. Wenn Sie aber Ihren Nachbarn Ihr Vorhaben erklärt haben und diese zustimmen, bevor der Bau beginnt, werden sie dafür mehr Verständnis aufbringen. Die Baubehörden haben dieses Verständnis nur in geringerem Maße. Einige Gemeinden erlauben freistehende, provisorische Bauten, andere geben ihre Zustimmung nur, wenn sie an bestehende Gebäude angeschlossen werden.

Um nun die Mindestgröße des Schuppens festzulegen, empfiehlt es sich, die Decksfläche des Bootes etwa zu verdoppeln. Ein Boot, daß ca. 9 m lang und 3 m breit ist, also in ein Rechteck von 27 m^2 paßt, braucht etwa 55 m^2 Hallenfläche. Ein Schuppen von 11 x 5 m wäre hierfür wohl ausreichend. Man hätte noch jeweils 1 m an den beiden Schiffsenden. Weniger Grundfläche wäre unzureichend, während etwas mehr die Arbeit noch erleichtert. Man muß die Vorteile der etwas größeren Ellenbogenfreiheit gegenüber den Kosten von Bau und Heizung abwägen.

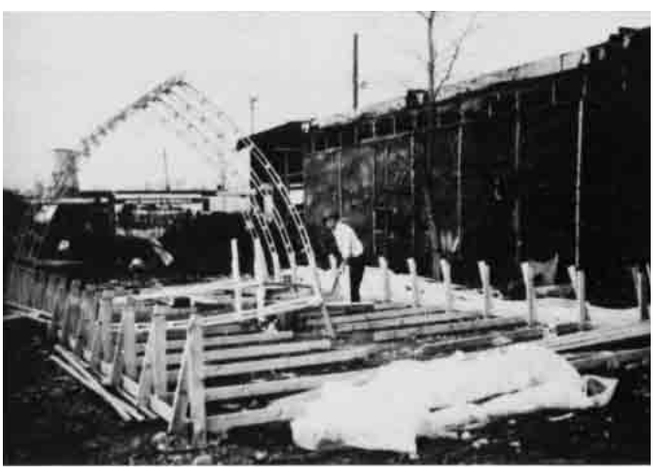


Bild 4.14 – Aufstellen der Bögen für einen Bauschuppen.

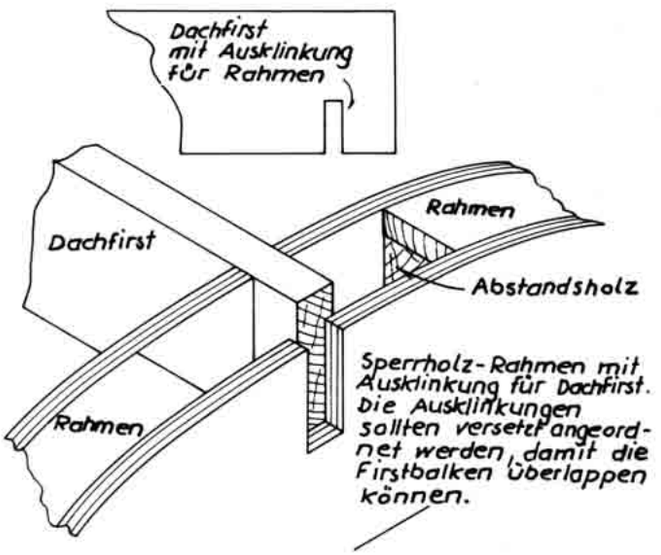

Dachfirst mit Ausklinkung für Rahmen
Dachfirst
Rahmen
Abstandsholz
Sperrholz-Rahmen mit Ausklinkung für Dachfirst. Die Ausklinkungen sollten versetzt angeordnet werden, damit die Firstbalken überlappen können.
Rahmen

Bild 4.15 – Firstkonstruktion eines Bauschuppens.

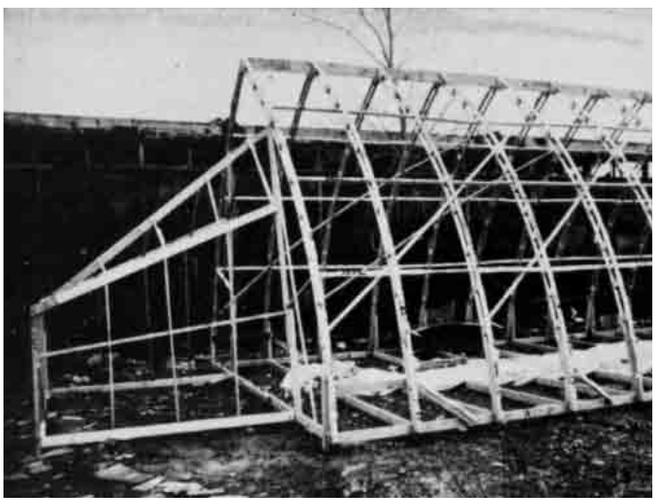


Bild 4.16 – Die Holzkonstruktion ist aufgestellt. Längs- und Diagonalstreben sind angebracht.

Wenn man nun weiß, wie groß der ideale Bootsschuppen sein muß, kommt die Entscheidung, ob man ihn an ein vorhandenes Gebäude anschließen kann oder ihn freistehend bauen muß. Wer sich nichts daraus macht, sein Auto längere Zeit im Freien stehen zu lassen, kann natürlich bei kleineren Booten einfach die Garage verlängern. Das ist immerhin einfacher, als einen ganz neuen Schuppen zu bauen. Wenn man schon vorhandene Wände

Bild 4.17 – Die Plastikfolie wird über die Rahmen gespannt.

mitbenutzen kann, spart das Zeit, und der Raum ist natürlich geschützter. Außerdem nimmt ein Anbau an ein bestehendes Gebäude einen Teil der Wärme mit auf und die Elektroinstallation ist einfacher.

In Abb.13 sehen Sie eine Garage, die für den Bau eines 7,3 m lamgen Trimarans erfolgreich verlängert wurde. Die Abmessungen des Holzes und der vorgefertigten Bauteile sind natürlich auf die geplante Raumgröße abzustimmen.

Wenn nun aber ein unabhängiger, freistehender Schuppen gebaut werden muß oder wenn der Anbau so groß ist, daß er doch erhebliche Trägerkonstruktionen benötigt, sollte nach unserem Rat ein Skelettbau aus Bögen hergestellt werden. Man kann diesen einseitig an ein bestehendes Gebäude anschließen, sollte dann aber Vorsorge treffen, daß man das Dach bei zu großer Wärme öffnen kann. Die Abb. 14, 16, 17 und 18 zeigen einen solchen aus Bögen gebauten Schuppen für einen 11 m langen Trimaran.

Bild 4.18 – Fertiger Schuppen. Die Stirnwände aus Sperrholz geben der Konstruktion zusätzlichen Halt.

Leider können wir für den Bau solcher Schuppen keine genauen Materialauszüge liefern. In den meisten Fällen liegt man recht gut, wenn der Abstand der einzelnen Bögen so etwa bei 1,2 m liegt, aber auch das ist unterschiedlich. Die jetzt folgenden Hinweise geben einen Anhalt, wie man den Bau vornehmen kann. Abmessungen und Holzqualitäten hängen davon ab, wie groß der Schuppen werden soll und auch von der Krümmung der einzelnen Bögen.

Man beginnt mit dem Bau der Halbbögen. Diese bestehen aus zwei schmalen Brettern, zwischen die 50 mm starke Leistenabschnitte als Abstandshalter geleimt sind. Man kann sie herstellen, indem man sie um eine einfache Form biegt. Mit WEST SYSTEM Epoxid und Nägeln wird im Abstand von jeweils $^1/_2$ m zuerst der Leistenabschnitt und darauf dann das zweite Brett befestigt. Das ergibt eine Art Sandwichkonstruktion. Wenn das Harz ausgehärtet ist, kann man den Rahmen entfernen und mit dem Bau des nächsten beginnen.

Die fertigen halben Rahmen werden nun an ihrer Spitze mit Sperrholzknien auf beiden Seiten verbunden, ebenfalls wieder mit WEST SYSTEM Epoxid und Nägeln oder Klammern. Die Knie sollten oben ausgeklinkt sein, um den Dachfirst aufzunehmen. Die Oberfläche wird dann geschliffen, um später die PE-Folie nicht zu zerreißen.

Bevor die Rahmen nun aufgestellt werden, müssen im gleichen Abstand Pfähle gesetzt werden, die nicht mehr als 1,5 m lang sein müssen. Trifft der Rahmen nicht senkrecht auf die Erde, sollten auch die Pfähle den gleichen Neigungswinkel haben. Man kann dann die vollständigen Rahmen aufsetzen und erst einmal mit Schraubzwingen an den Pfählen befestigen. Der Dachfirst wird nun ausgefluchtet und die Rahmen, soweit nötig, justiert. Rahmen und Pfähle werden nun mit zwei Schrauben verbunden, so daß die Rahmen jetzt freistehen. Den Dachfirst einzuziehen ist sehr einfach, wenn man mit Abschnitten arbeitet, die genauso lang sind, wie der Abstand der Rahmen untereinander ist. Das Firstbrett sollte etwa 20 mm stark sein und in die Ausklinkungen der Kniee eingelassen werden, wie Abb.15 zeigt. Das Aufstellen der Rahmen und das Einlassen der Firstbretter kann kontinuierlich vorgenommen werden.

Steht nun das Hallengerüst, muß es noch verschwertet werden, um die Längsfestigkeit sicherzustellen. Eine Möglichkeit besteht darin, daß man die Stirnseiten diagonal nach unten abfallen läßt. Mitunter braucht man aber auch noch eine Verschwertung der Rahmen untereinander.

PE-Folie kann man in jedem Baumarkt kaufen. Sowohl schwarze wie auch durchsichtige Folien von etwa 0,15 mm Dicke sind ohne Schwierigkeiten erhältlich. Die schwarze Folie nimmt mehr Wärme aus der Sonneneinstrahlung auf. Wer also die Wahl hat und unter kalten Witterungsbedingungen bauen muß, sollte sich für die schwarze entscheiden. Die eingefärbte Folie hat noch den Vorteil, daß das ultraviolette Licht vom Boot ferngehalten wird, aber die Folie selbst hält nicht länger als die durchsichtige. Risse oder kleine Schamfilstellen lassen sich mit Klebeband ausbessern, aber man sollte sich darauf einstellen, daß die Folie nicht länger als ein Jahr durchhält.

Wenn die Bauhalle auch Stürmen widerstehen soll, oder wenn Sie lieber etwas mehr investieren, um damit das jährliche Auswechseln zu sparen, können Sie auch Gitterfolien benutzen. Dieser Folientyp besteht aus drei Lagen, nämlich einem Nylongewebe, das beidseitig mit PE beschichtet ist. Es kostet mehr und hält dafür länger.

Unabhängig davon, welche Art von Folie man benutzt, sollte die „Haut“ aus einem Stück sein. Ist es nicht möglich, eine solch große Folie in einem Stück zu kaufen, muß sie zusammengeklebt werden. Dazu legt man die Folie auf einem geraden Fußboden aus und verbindet sie mit wasserfestem Klebeband mit etwa 30 cm Überlappung. Das Klebeband muß unter gleichmäßiger Spannung der Folienteile aufgebracht werden und sollte gut angedrückt werden. Außerdem ist es notwendig, beide Seiten mit Klebeband zu versehen.

Muß man sich um die Wärme im Bootsschuppen Gedanken machen, ist es vielleicht sinnvoll, die Rahmen zunächst mit einer festen Pappe zu verkleiden, bevor die Plastikhaut übergezogen wird. Macht man dies auf der Innenseite der Rahmen, kann man den Hohlraum zusätzlich noch mit Isoliermaterial füllen und auch die Außenseite nochmals mit Pappe verkleiden.

Nachdem nun die Plastikfolie übergezogen ist, muß sie an den Enden der Rahmen befestigt werden, was am besten dadurch geschieht, daß man dünne Latten aufnagelt. Unten empfiehlt es sich, hierfür Bretter zu benutzen. Auf der Innenseite geht man ebenso vor.

Einen Fußboden in eine solch provisorische Halle zu legen ist natürlich teuer und auch aufwendig. Man kann sich auch mit einer Folie auf dem Fußboden begnügen, muß dann aber die Entwässerung sicherstellen. Dazu gräbt man einen kleinen Ablaufgraben um die Halle herum und verlegt eine PE-Folie auf dem gesamten Fußboden, die bis in den Wassergraben hineinreicht. Etwas leichter wird das Arbeiten in der Halle, wenn man den Fußboden noch mit Hartfaserplatten abdeckt.

Wer die Absicht hat, seinen Bootsschuppen zu beheizen, sollte unserer Empfehlung folgen und Wände und Dach noch mit einer zweiten Lage abdecken, da hierdurch eine Luftisolierung entsteht. Man kann das mit einer PE-Folie machen, aber feste Pappe isoliert besser und gibt der ganzen Konstruktion noch mehr Halt. Wenn man diese Platten sauber annagelt, sieht die Werkstatt schon fast aus wie ein festes Gebäude. Man kann noch zusätzlich Heizkosten sparen, indem man die Rahmen mit Dachsparren versieht, um eine Decke abzuhängen. Warme Luft steigt nun einmal nach oben, daher ist die Investition in einen Lüfter recht sinnvoll, um die Wärme wieder nach unten zu drücken.

Wenn nun die Heizungsanlage und die Elektroinstallation fertiggestellt sind, kann der Bootsbau beginnen. Die Wärmequelle muß in geeigneter Weise belüftet werden. Außerdem braucht man einen großen Funkenschutz, wenn man ein Ofenrohr durch eine der Stirnwände hindurchführt. Kohle und Holzöfen sind nicht sehr ratsam, weil die Funken die PE-Folie durchlöchern könnten. Außerdem können offene Feuer Lösungsmittel und Holz in Brand setzen.

Kapitel 5

Holz als Baumaterial

Holz hat als Bootsbaumaterial viele Vorteile. Es ist sicherlich einfacher, billiger und befriedigender, ein Boot aus Holz zu bauen als aus jedem anderen Werkstoff. Holz ist leicht zu bearbeiten und in die gewünschte Form zu bringen, und fast jeder hat irgendwelche Erfahrungen mit diesem Werkstoff gemacht. Holz ist jederzeit verfügbar und ist billiger als Stahl, Aluminium und glasfaserverstärkter Kunststoff. Obwohl die Schnittholzpreise in den letzten zehn Jahren gestiegen sind, ist Holz immer noch vergleichsweise billig, sowohl was den reinen Materialpreis betrifft, wie auch in Bezug auf die Werkzeuge, mit denen man es bearbeitet. Der wichtigste Grund aber ist, daß Holz mechanische Eigenschaften hat, die es für den Bootsbau geradezu ideal machen. Seine Festigkeit, Steifigkeit, sein niedriges Gewicht und seine Widerstandsfähigkeit gegen Ermüdung verleihen dem Holz Vorteile gegenüber anderen Materialien.

Neben seinen vielen Vorteilen als Baumaterial hat Holz aber auch einige wohlbekannte Nachteile, von denen die meisten damit zusammenhängen, daß durch die Zellen Wasser transportiert wird. Holz kann verrotten. Es schrumpft und dehnt sich aus, je nach Änderung der Luftfeuchtigkeit und Temperatur und es verliert etwas von seiner Festigkeit und Steifigkeit, wenn sein Feuchtegehalt hoch ist. Da diese unterschiedliche Feuchte das Holz auch in seinen Eigenschaften verändert, gab es – wenigstens in der Vergangenheit – Schwierigkeiten beim Bau hölzerner Boote. Die Konstruktion von hölzernen Booten mußte also auf diesen instabilen Zustand des Materials Rücksicht nehmen.

Durch die Anwendung von WEST SYSTEM Epoxid beherrscht man nun größtenteils die Probleme, die früher mit hölzernen Konstruktionen verbunden waren. Alle Verbindungen in einem Boot, das nach den im vorliegenden Buch beschriebenen Verfahren gebaut wird, werden durch Harz hergestellt, und alle Oberflächen sind von Harz umschlossen. Auf diese Weise ist jedes Stück Holz sowohl innen wie außen von einer Schutzschicht mit WEST SYSTEM Epoxid abgedeckt, durch die weder nennenswerte Mengen Wasser noch Luft dringen können. Das hat zur Folge, daß die Holzfeuchte stabilisiert wird.

Stabilisierung in dieser Beziehung bedeutet, daß das Holz nur sehr wenig schrumpfen oder sich ausdehnen kann. Die Feuchte, bei der diese Stabilisierung erreicht wird und die das Holz auch beibehält, sichert eine gleichmäßige Festigkeit und Steifigkeit. Das Ummanteln mit WEST SYSTEM Harz verhindert auch die Entstehung von Trockenfäule, nicht nur durch die Stabilisierung der Holzfeuchte, sondern auch dadurch, daß Sauerstoff von der Holzoberfläche ferngehalten wird.

Seit dem Ende des zweiten Weltkrieges wurde viel Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Epoxidharze und anderer warmhärtender Kunststoffe geleistet. Wenig dagegen ist auf dem Gebiet des Holzes geschehen. Wir zählen uns zu den wenigen, die ganz speziell daran arbeiten, Holz/Epoxid Kompositmaterialien zu entwickeln, und wir sind auch die einzige Firma, die diese neuen Werkstoffe erschöpfend prüft, besonders im Hinblick auf Langzeitermüdung. Unsere Bemühungen zeigen ganz klar, daß Holz/WEST SYSTEM Epoxidkomposite zu den besten Baumaterialien gehören, die zur Zeit für den Bootsbau zur Verfügung stehen, wenn Festigkeit und das Verhältnis Steifigkeit zu Gewicht vorrangige Bedeutung haben. Wegen der Überlegenheit des Kompositmaterials im Bezug auf Ermüdung werden Holz/Epoxidrümpfe auch nach langer Gebrauchszeit und harter Beanspruchung weniger stark zum Versagen neigen als Boote aus anderen Werkstoffen. Warum das so ist, werden wir in diesem Kapitel erklären und später noch ausführlich das WEST SYSTEM Harz in Kapitel 7 vorstellen. (Siehe Anhang A: Physikalische und mechanische Eigenschaften von Holz)

Ingenieurmäßiges Denken im Holzbootsbau

Boote stellen uns vor einmalige ingenieurmäßige Probleme. Wir brauchen eine äußere Hülle, die in manchen Fällen Lasten übernehmen muß, in manchen auch nicht, die jedoch immer dem Druck mehrerer Tonnen Wasser standhalten soll. Boote sollen auch hohe Punktbeslastungen aushalten, die

z.B. beim Auf- und Abslippen entstehen, aber auch bei Kollision mit schwimmenden Gegenständen. Selbst kleine Boote haben sehr viel verletzliche Rumpf-und Decksfläche, die sorgfältig ausgesteift sein muß, um die vorgegebene Form beizubehalten. Große Riggs auf Segelbooten können in dem Rumpf Torsion und Biegung verursachen, wenn sie nicht durch entsprechende Verstrebungen in geeigneter Weise ausgesteift sind. Schließlich müssen Boote alle diese Belastungen fortlaufend viele Jahre lang aushalten können. Die Aufgabe, die sich uns stellt, wenn wir alle diese Probleme lösen wollen, ist eine erfolgreiche Mischung von gutem Entwurf, Baumethoden und Materialwahl.

Boote verlangen nach einem Material, das gleichzeitig fest ist und niedrig im Gewicht. Es muß aber auch steif sein, um z.B. Verformung unter Belastung widerstehen zu können. Innerhalb gewisser Grenzen wird das leichtere und steifere Boot auch dasjenige sein, das bessere Laufeigenschaften hat und eine längere Lebensdauer. Je weniger der Rumpf wiegt, desto schneller wird das Boot sein, bei vorgegebener Antriebsleistung. Je steifer das Boot ist, desto besser wird es seine Form halten und sich dem „Weichwerden“ durch Biegung und Ermüdung widersetzen. Diese Festigkeit und Steifigkeit muß das Bootsbaumaterial über einen langen Zeitraum bei dauernder Beanspruchung beibehalten. Die einzelnen Bauteile, wie auch das Bauverfahren müssen darauf abgestimmt sein, die Möglichkeiten des Materials voll auszuschöpfen.

Diese Grundforderungen kann man am besten verstehen, wenn man sich die Bootsschale als einen Kastenträger vorstellt, der durch Rumpf- und Decksbeplankung sowie Kiel begrenzt wird. Die gesamte Außenhaut einschließlich Deck, dazu die Stringer und andere längslaufende Bauteile, tragen zur Längsfestigkeit bei. Spanten und Schotte, die im rechten Winkel zu diesen angeordnet sind, bilden ein querliegendes Gitterwerk und sorgen für die Torsionssteifigkeit. Wenn nun dieses längs- und querangeordnete Versteifungsgerüst lose und schwach ist, dazu die äußere Hülle noch verformbar – sei es durch eine schlechte Konstruktion, qualitativ minderwertige Bauweise oder eine falsche Materialwahl – kann dieser Träger seine Form verlieren. In Booten zeigen sich die Probleme ungenügender Unterstützung meistens in Form von Aufbeulen, Durchbiegen, von Lecks oder einfach durch schlechte Laufeigenschaften.

Ausreichende Festigkeitseigenschaften werden von jedem Material erwartet, das in einem Boot eingebaut wird. Gewöhnlich wird genügend Material verbaut, um noch einen ausreichenden Sicher-

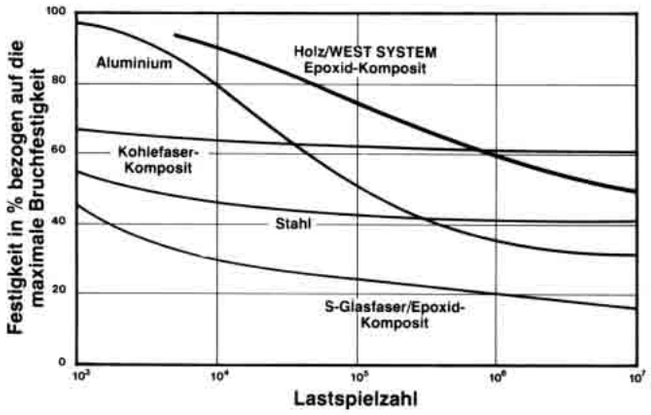


Bild 5.1 – Ermüdung durch Zugbelastung. Ermüdungs-Festigkeit verschiedener Materialien als prozentualer Wert der statischen Festigkeit.

heitsfaktor gegen Materialermüdung und unvorhergesehene Belastungen zu haben. Abgesehen hiervon ist die Bruchfestigkeit gar nicht so kritisch. Die Steifigkeit jedoch bleibt weiterhin wichtig und die höchst erreichbare Steifigkeit ist das Ziel. Alle Materialien verformen sich unter Belastung, – entweder sie dehnen sich aus oder sie werden zusammengedrückt – aber bei einem Bootsrumpf ist jede

Bild 5.2 – Material-Prüfungsanlage der Fa. Gougeon mit eingespanntem Prüfkörper.

Verformung nun einmal unerwünscht. Man kann zwar Festigkeit und Steifigkeit sehr einfach dadurch erhöhen, daß man mehr Material in Form einer dickeren Außenhaut wählt, aber dadurch treibt man das Rumpfgewicht in die Höhe. Eines der Hauptproblem bei den Booten besteht ja darin, daß das Rumpfgewicht ein dominierender Faktor für das Gesamtgewicht ist.

Einer der Wege, ein Boot schnell zu machen, besteht darin, sein Gewicht zu verringern. Dieses Ziel hat man lange Jahre hindurch ganz konsequent verfolgt. Der starke Wettbewerb und entsprechende Kundenwünsche haben in jüngster Zeit viele Konstrukteure und Werften dazu gebracht, bis an die Grenzen zu gehen und teilweise jede Art von Sicherheitsfaktor außer acht zu lassen. Das Ergebnis -Boote, die ein Rennen wegen Materialversagen nicht beendet haben – deutet bereits an, daß die Ermüdungsfestigkeit des Bootsbaumaterials ein ganz wesentliches Kriterium ist. Wenn ein Material einen großen Teil seiner Festigkeit nach einer hohen Einzellast verliert, kann es sehr schnell endgültig versagen, unabhängig davon, wie hoch die Festigkeit ursprünglich einmal lag.

Ermüdung ist eine *Häufung* von kleinen Schäden, die durch wiederholte Belastungen eines Bauteils verursacht wird. Wenn Boote, Flügel von Windturbinen und Masten einer Serie anhaltender Belastungen unterworfen sind, ist das Ermüdungsverhalten des Materials von größerer Bedeutung als die Bruchfestigkeit. Wenn ein Bootsbaumaterial einen großen Teil seiner Festigkeit nach ein paar tausend Stunden eingebüßt hat, kann es versagen. Ermüdungsbrüche sind wahrscheinlich einer der wesentlichen Gründe für die Ausfälle von Rennbooten.

Die verschiedenen Materialien unterscheiden sich sehr stark in ihrem Ermüdungsverhalten. Einige haben in dieser Beziehung eine hohe Festigkeit für eine begrenzte Anzahl von Lastwechseln, aber sie verlieren sehr viel von ihrer Festigkeit, wenn diese Belastungen sich wiederholen. Andere, insbesondere Holz, haben eine etwas niedrigere Bruchfestigkeit, behalten aber ihre Festigkeitseigenschaften selbst nach mehreren Millionen Lastwechseln von Zug und Druck bei. Die auf eine einmalige Belastung hin festgelegte Bruchbelastung ist daher für die Frage, wie sich ein Material bei dauernder Wechselbelastung verhält, nicht repräsentativ. Abb.l zeigt das Langzeitermüdungsverhalten einiger bekannter Bootsbaumaterialien bei Wechselzugbeanspruchung. Die Ordinate dieses Diagramms stellt die Belastungsfähigkeit eines jeden Materials in Form einer Prozentzahl dar, wobei die 100% gleich der Bruchfestigkeit bei einmaliger Belastung sind. Alle vorgestellten Materialien verlieren an Festigkeit, wenn eine vorgegebene Belastung wiederholt aufgebracht wird. Die Kurven zeigen die noch vorhandene Festigkeit nach bestimmten Lastwechseln.

Man kann sich schwer vorstellen, daß Millionen von Lastwechseln überhaupt auftreten, aber das läßt sich leicht in Betriebsstunden umrechnen. Man hat Boote mit Meßinstrumenten ausgerüstet und festgestellt, daß etwa alle drei Sekunden eine Wechselbelastung durch Wellen auftritt. Nach etwa 833 Stunden – das entspricht etwa einer Betriebszeit von vier Jahren, wenn man nur am Wochenende segelt – hat der Rumpf bereits eine Million Lastwechsel ertragen. In einem hölzernen Boot hätte man nach dieser Zeit noch etwa 60% der Ursprungsfestigkeit, während bei Aluminium nur noch 40% und bei GFK-Booten nur noch 20% der ursprünglichen Belastungsfähigkeit vorhanden sind. Bei der geschätzten Lebensdauer eines Bootes und der Tatsache, daß das menschliche Leben von der Festigkeit auch nach längerer Zeit abhängt, sollten diese Zahlen Grund genug zum Nachdenken sein.

Einige Yachtkonstrukteure versuchen einen Kompromiß zwischen Steifigkeit, Bruchfestigkeit, Gewicht und Ermüdungsfestigkeit zu finden. Wir verarbeiten Holz, wir brauchen also keine Kompromisse einzugehen. Holz ist nun einmal das Material der Wahl, wenn die Hauptaufgabe darin besteht, größte Steifigkeit und ausgezeichnete Festigkeit bei geringstem Gewicht zu erreichen, und Holz behält diese guten Eigenschaften viele Jahre lang auch bei hartem Gebrauch bei.

Die Festigkeit des Holzes

In seinem Buch *The New Science of Strong Material* von J .E. Gordon, schlägt der Autor vor, sich Holz vereinfacht als ein Bündel von Strohhalmen vorzustellen, die miteinander verklebt sind. Diese Halme sind ein Bild für kreisförmige Zellulosefasern, die mit Lignin verbunden sind. Das Bild macht deutlich, was mit einem Stück Holz unter Belastung passiert.

Wird eine gleiche Kraft auf die beiden Stirnseiten dieses Bündels aufgebracht, jedoch einmal in Zug- und einmal in Druckrichtung, so sind die Folgen ganz unterschiedlich. Das Faserbündel ist *anisothrop* (es hat unterschiedliche Eigenschaften in verschiedenen Richtungen): Die Längsfestigkeit, d.h. in Richtung der „Strohhalme“, ist sehr viel größer als die Querfestigkeit, also die quer zur Faserrichtung. Wird auf die Stirnseiten zuviel Druck ausge-

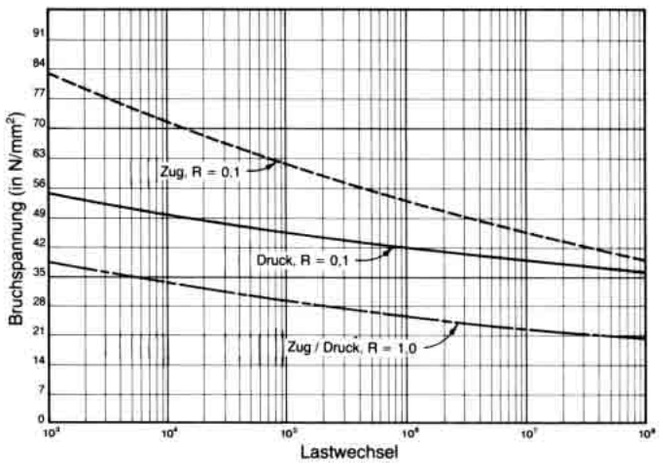


Bild 5.3 – Ermüdungsfestigkeit von lamellierten Bauteilen. Bruchspannung, umgerechnet auf 12% Holzfeucbte, aufgetragen gegen Anzahl der Lastwechsel. Prüfkörper: Douglas Fir/Epoxid mit Schäftungen l:12, 75 mm versetzt. 205 cm³ Prüfkörper-Volumen. Belastung parallel zur Holzfaser, Raumtemperatur.

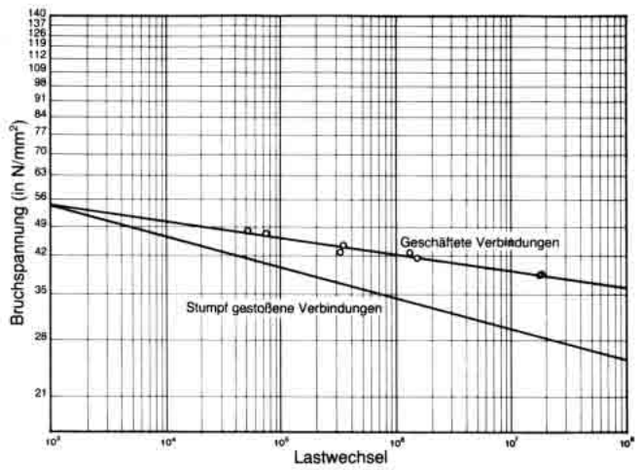


Bild 5.4 -Ermüdungsfestigkeit auf Druck. Bruchspannung, aufgetragen gegen Anzahl der Lastwechsel. Prüfkörper: Douglas Fir/Epoxid mit Schäftungen l :12 und stumpf gestoßenen Verbindungen, jeweils 75 mm versetzt. 205 cm³ Prüfkörper-Volumen. Belastung parallel zur Holzfaser, Raumtemperatur. 12% Holzfeuchte.

übt, dann werden die Halme zunächst ausbeulen und dann brechen. Grundsätzlich kann das Bündel mehr Zug als Druck aufnehmen. Man muß aber schon erhebliche‘ Kräfte aufwenden, damit es wirklich zum Bruch kommt.

Die Festigkeit ist ein Maß dafür, wieviel Kraft aufgebracht werden muß, damit ein bestimmtes Bauteil bricht. In Holz unterscheiden sich die Festigkeitswerte ganz bedeutend je nach Orientierung und Art der Belastung. Die Festigkeitswerte in Faserrichtung liegen etwa zwanzigmal höher als quer zur Faser, sowohl in tangentialer wie in radialer Richtung in Bezug auf die Jahresringe. Die Zugfestigkeit der meisten Holzsorten ist recht hoch und ihre Druckfestigkeit niedriger. Wenn Holz überbelastet wird, wird es sich zunächst verformen und dann brechen, wobei sich die Zellen bis zu 20% verformen, bevor es zum Versagen kommt. Holz wird zunächst langsam nachgeben und erst dann brechen.

Die Festigkeit eines bestimmten Stückes Holz hängt größtenteils von folgenden Dingen ab: Holzqualität, Feuchte und Dichte. Wuchsfehler, Äste und andere Fehlstellen können eine lokale Schwächung bewirken. Eine Veränderung der Holzfeuchte kann die Bruchfestigkeit einer gesamten Planke entweder verbessern oder verringern. Abbl0 zeigt, wie Veränderungen des Feuchtigkeitsgehaltes die mechanischen Eigenschaften des Holzes verändern, insbesondere bei Druck. Die Holzdichte hängt sehr von der Holzart ab (siehe Anhang A: Festigkeitswerte ausgesuchter Bootsbauhölzer).

Holz ist gegenüber Ermüdung im Allgemeinen sehr widerstandsfähig. Obwohl die Bruchfestigkeit bei einmaliger hoher Belastung nicht so hoch sein mag wie bei anderen Materialien, bleibt ein erstaunlich hoher Teil der Festigkeit über einen langen Zeitraum erhalten und widersteht damit der Ermüdung. Das ist nicht erstaunlich, wenn man bedenkt, daß die Natur Millionen von Jahren gebraucht hat, um Bäume unter Bedingungen zu entwickeln, in denen nur die Besten und Stärksten überleben konnten. Während nun diese guten Eigenschaften des Holzes seit Jahren empirisch nachgewiesen sind – jeder, der einen großen Baum beobachtet, der wiederholten Stürmen widersteht, weiß wie stark Holz sein kann –, gab es bisher wenige gesicherte technische Daten, um die ingenieurmäßige Erfassung der Widerstandsfähigkeit von Holz gegenüber Wechselbelastungen nachzuweisen.

Im Jahre 1978 haben wir mit einem Untersuchungsprogramm -mit Unterstützung der NASA – begonnen, um die Ermüdungsfestigkeit von Holz in lamellierten Bauteilen zu testen. Frühere Versuche, die bereits 1943 durchgeführt wurden, haben gezeigt, daß Sitka Spruce eine ausgezeichnete Ermüdungsfestigkeit besitzt. Die Versuche lieferten aber nicht ausreichende Informationen, um unsere Windturbinenflügel zu entwickeln. Unsere Versuche, die ausführlich in Anhang B beschrieben werden, bezogen sich auf ultraschallgeprüfte Furniere aus Douglas Fir, die mit WEST SYSTEM Epoxid lamelliert wurden, mit und ohne zusätzliche Verstärkung durch synthetische Fasern. Die folgende

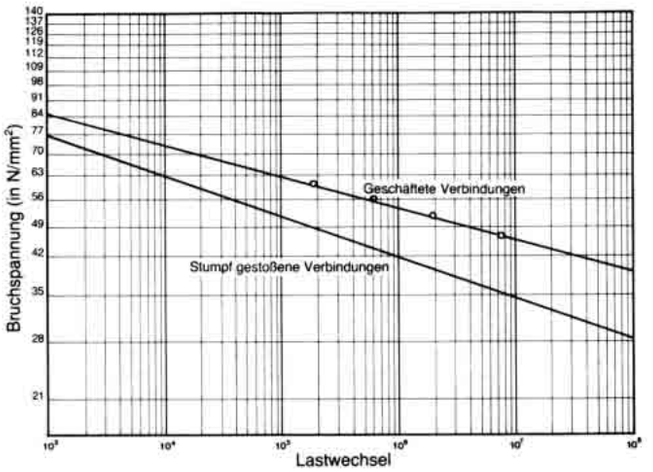


Bild 5.5 – Ermüdungsfestigkeit auf Zug. Bruchspannung, aufgetragen gegen Anzahl der Lastwechsel. Prüfkörper: Douglas Fir/Epoxid mit Schäftungen 1:12 und stumpf gestoßenen Verbindungen, jeweils 75 mm versetzt. 205 cm³ Prüfkörper-Volumen. Belastung parallel zur Holzfaser, Raumtemperatur. 12% Holzfeuchte.

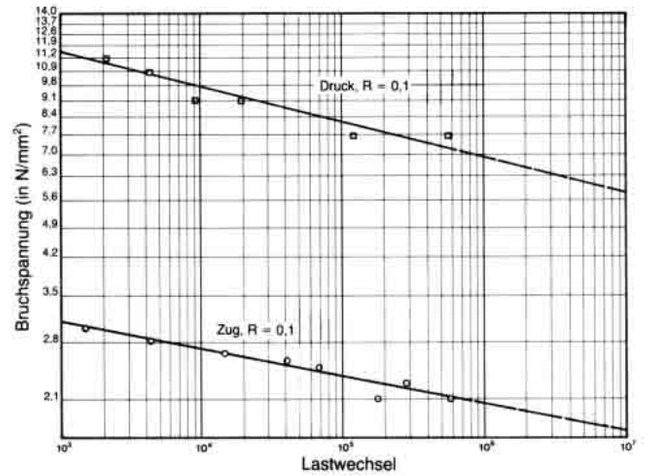


Bild 5.6 – Ermüdungsfestigkeit von Holz/Epoxid bei tangentialer Belastung.

Erörterung unserer Versuchsergebnisse bezieht sich nur auf Holz/Epoxid Komposite; Einzelheiten über andere Laminate, die mit Holz und Glas, Aramid- und Graphitverstärkungen gefertigt wurden, sind in Anhang B aufgelistet, Für Massivholz bestehen nirgendwo gleich ausführliche Datensammlungen, aber die Werte liegen generell darunter.

Abb.3 zeigt in Kurvenform die Ergebnisse von Ermüdungsversuchen für Zug, Druck und Wechselbelastung. Bei kleiner Lastwechselzahl kann Holz sehr viel mehr Zug als Druck aufnehmen. Bei zehn Millionen Lastwechseln jedoch sind die Eigenschaften sehr ähnlich, und die Kurven der Ermüdungsfestigkeit liegen dichter beieinander,

Wir haben Flügel für Windturbinen mit einem Durchmesser von 120 m entwickelt und haben Rotorflügel gebaut, die 20 m lang waren. Furniere haben jedoch nur eine Länge von 2,40 m und müssen in geeigneter Form zusammengefügt werden, um solche Rotoren zu bilden. Deshalb haben alle unsere Prüfstücke entweder geschäftete oder gestoßene Verbindungen – also eingebaute Fehlstellen. Bei einer Testserien haben wir Schäftungen von 12:1 geprüft, und in einer zweiten Serie haben wir den erheblich schwerwiegenderen Fehler von 3 gestoßenen Verbindungen eingebaut. Obwohl der Unterschied zwischen geschäfteten und gestoßenen Probestücken, die in Abb.4 und 5 logarithmisch aufgetragen sind, deutlich war, war er doch nicht so stark, wie wir vermutet hatten. Bei anderen Materialien würde ein solch eingebauter Fehler eine sehr deutliche Verringerung der Ermüdungsfestigkeit bewirken.

Dieses waren Versuche, um die Längsfestigkeit der Prüfstücke festzustellen, d.h. es wurde die Ermüdungsfestigkeit bei Last parallel zur Holzfaser gemessen. Ebenso wichtig sind aber die *Sekundäreigenschaften oder Festigkeitswerte quer zur Faserrichtung.* Bäume haben ja eine sehr einfache Belastung auszuhalten, da der größte Teil der Belastungen eben in Faserrichtung auftritt. Aber Boote und andere komplizierte Bauteile haben das nicht. Bei diesen liegt die Belastung nicht in Faserrichtung, es ist also notwendig, ein Verständnis für die Fähigkeit des Materials zu entwickeln, Belastungen in radialer und tangentialer Richtung aufzunehmen.

Alle unidirektionalen Komposite haben erheblich weniger Festigkeit quer zur Faserrichtung als parallel dazu. Lamelliertes Holz – man könnte auch sagen: Holzlaminate – nehmen in Faserrichtung etwa fünfmal soviel Zug auf wie tangential zur Faser. Hochdichte Faserbündel wie Glas oder Kohlenstoff haben in dieser Beziehung sehr viel größere Probleme: Ihre Festigkeit quer zur Faserrichtung wird nur einen kleinen Bruchteil ihrer Längsfestigkeit erreichen. Unserer Meinung nach rührt der überwiegende Teil von Materialversagen bei Booten, soweit es Kompositmaterialien betrifft, daher, daß diese Sekundäreigenschaften nicht beachtet wurden, und gerade auf diesem Gebiet gibt es entweder nur begrenzte oder überhaupt keine gesicherten Erkenntnisse über Ermüdungsfestigkeit.

Schub-und Querfestigkeit von Holz lassen sich nur schwer messen. Abb.6 zeigt Ergebnisse, die wir für Quer- und Zugfestigkeit sowie Druck von lamellierten Bauteilen aus Douglas Fir ermittelt haben. Es ist geplant, sehr viel eingehendere Untersuchungen in dieser Hinsicht zu machen. Die Ergebnisse

werden wir veröffentlichen, sobald die Versuche abgeschlossen sind.

Die Steifigkeit des Holzes

Die Steifigkeit eines Materials läßt sich dadurch bestimmen, daß man die Durchbiegung unter gegebenen Wechselbelastungen mißt. Dieser Kennwert beschreibt, wie biegsam, flexibel, starr oder steif ein Material oder ein Bauteil ist. Da wiederholte Durchbiegung einen fortschreitenden Schaden hervorrufen kann, ist die Widerstandsfähigkeit gegen Durchbiegung oft für die Unversehrtheit einer starren Konstruktion von großer Wichtigkeit. In Booten muß eine ausreichende Steifigkeit des Rumpfes das übermäßige „Arbeiten" verhindern, daß z.B. durch wiederholte hohe Punktbelastungen hervorgerufen wird. Holz an sich hat eine ausgezeichnete Steifigkeit und besitzt, wie Abb.7 zeigt, ein vergleichsweise niedriges Gewicht.

Um die Holzsteifigkeit deutlich zu machen, haben wir einen einfachen Biegeversuch durchgeführt und die Ergebnisse mit denen anderer Materialien verglichen, die ebenfalls für den Bootsbau genutzt werden. Die Probestücke für diesen Versuch waren folgende:

(1) Unidirektionales Glasgewebe mit Polyesterharz (50% Glasfaservolumen)
(2) Aluminium
(3) Aramidfaser mit Epoxidharz (50% Faseranteil)
(4) Graphitfaser mit Epoxidharz (50% Faseranteil)
(5) Esche
(6) Sitka Spruce
(7) Western Red Cedar.

Jedes Prüfstück war 610 mm lang und 12,7 mm breit. Die Dicke ergab sich aus der Dichte des Materials, so daß alle Prüfkörper genau 25 g wogen. In der Theorie stellen diese Musterstücke kleine Ausschnitte aus der Außenhaut eines Bootes dar, wie sie bei Rümpfen gleicher Abmessungen gewählt werden könnten.

Für die Prüfung wurden diese Testkörper an der Werkbank festgeklemmt und als Kragbalken benutzt, wobei am freien Ende Gewichte angebracht wurden. In Abb.8 ist die Durchbiegung bei gleicher Belastung für alle Prüfkörper aufgelistet, gleichzeitig wird der Kilopreis für jedes Material angegeben. Holz und das Graphitfaser/Epoxidlaminat widerstanden der Durchbiegung offensichtlich besser als alle anderen Testköper. Wenn man als Kriterium die Kosten hinzunimmt, war Holz eindeutiger Gewinner in diesem Vergleich der Steifigkeitswerte. Aber Graphitfaserlaminat ist fast zwanzigmal so teuer wie Sitka Spruce.

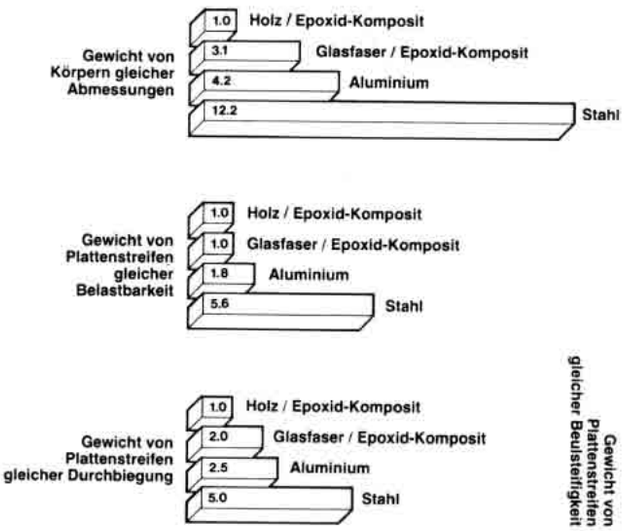


Bild 5.7 – Relativ-Gewichte flacher Platten, hergestellt aus verschiedenen Materialien. Holz/Epoxid Komposite aus ultraschall-geprüfter Douglas Fir und WEST SYSTEM Epoxidharz.

Im Balkenbiege-Versuch werden gleiche Materialgewichte aber nicht gleiche Volumina miteinander verglichen. Ein Teststück aus Aluminium mit 3 mm Dicke würde der Durchbiegung sehr viel besser widerstehen als ein Stück Holz gleicher Stärke, aber es würde auch etwa siebenmal so schwer sein. Vergleicht man zwei Rümpfe, von denen einer mit 3 mm Aluminium und der andere mit einer Außenhaut aus 22 mm Holz gefertigt wurden, wäre das Gewicht fast identisch, aber das Holzboot wäre ganz eindeutig steifer.

Bild 5.8 – Vergleich der Steifigkeit von Kragbalken, hergestellt aus 7 verschiedenen Materialien[1].

Material	Durchbiegung (mm) bei Belastung mit		Spez. Gewicht
	200 g	500 g	
Glasfaser/Polyester (50% Glasanteil)	250	Bruch	1,52
Aluminium	241	Bruch	2,7
Kevlar/Epoxid (50% Glasanteil)	159	292	1,18
Graphitfaser/Epoxid (50% Faseranteil)	43	102	1,54
Esche (1. Wahl)	43	102	0,64
Sitka Spruce (1. Wahl)	21	46	0,38
Western Red Cedar (1. Wahl)	17	41	0,31

[1] Versuche von Gougeon Brothers, August 1976.
[2] Alle Prüfkörper wiegen 25 g und haben Abmessungen von 610 x 12,5 mm.

Wenn das Gewicht eine wesentliche Rolle spielt, wie das bei Bootsrümpfen der Fall ist, wird es immer vorteilhaft sein, Material niedriger Dichte denen hoher Dichte vorzuziehen, um eine hohe Steifigkeit zu erreichen. Auf der Basis Gewicht/m^2 hat das dickere, leichtere Material natürliche Vorteile gegenüber dem dünneren, schwereren. Ein Balken nimmt Längsbelastungen erheblich besser auf, wenn sie weit von der neutralen Faser entfernt liegen, sofern die Belastungen nicht die Materialfestigkeit selbst übersteigen. Ein hölzerner Balken kann dicker sein als einer aus Stahl bei gleichem Gewicht, abgesehen davon, daß er auch noch thermische und akustische Isolierung gewährleistet. Nur dort, wo der Platz beschränkt ist und die Festigkeitsforderungen sehr hoch liegen, ist das Material hoher Dichte vorzuziehen. Masten, Bäume und Schwerter verlangen mehr Festigkeit bei kleineren Abmessungen als unverstärktes Holz bieten kann.

Unsere Versuche nehmen nicht darauf Rücksicht, daß sowohl die Festigkeit wie auch die Steifigkeit von Glasfaserlaminaten durch die Verwendung von Kernmaterialien manipuliert werden können. Die Technik, Holzrümpfe mit Glasfasergewebe zu überziehen, ist bei kleinen Booten sehr erfolgreich. Hervorzuheben sind hier leistengeplankte Kanus. Bei der praktischen Ausführung kann es aber erhebliche Schwierigkeiten geben, wie wir noch in Kapitel 20 darlegen werden.

Überlegungen zum Thema Holz

Um Holz als Baumaterial zu verstehen, muß man ein wenig über sein Wachstum wissen. Während einige seiner guten Eigenschaften – ganz besonders erwähnenswert ist hier die Widerstandsfähigkeit gegen wiederholten Wind- und Wasserangriff – daher rühren, daß der Baum ja mit Nährstoffen versorgt werden muß, sind es eben diese Eigenschaften, die zu gewissen Poblemen führen.

Wenn ein Baum wächst, werden Zellulosemoleküle schnurförmig aufgereiht, die dann Teile der Zellwände einer Holzfaser werden. Zellulose, Lignin und Halbzellulose verleihen dem Holz seine physikalischen Eigenschaften. Neues Holz wird um einen Kern aus älterem Holz und Mark angeordnet und spiegelt die Jahreszeit wieder, in der es entstanden ist. Zellen in *frühem Holz,* das im Frühling gewachsen ist, haben dünnere Wände und größere Hohlräume als die Zellen von *spätem Holz*. Der Übergang zwischen bei den Wachstumsperioden wird an den Jahresringen sichtbar, deren Größe von der Art des Baumes abhängt und auch von den Bedingungen, unter denen das Holz gewachsen ist.

In den Tropen zum Beispiel, wo das Wachstum das ganze Jahr über gleichmäßig ist, besitzt Holz keine ausgeprägten Jahresringe. Im Gegensatz dazu haben Bäume aus nördlichen Regionen, wo die Witterungsbedingungen je nach Jahreszeit sehr unterschiedlich sind, ganz deutliche Jahresringe, die das frühe und das späte Holz unterscheiden.

In einem Baumstamm entwickeln sich zwei verschiedene Sorten Holz. Das Splintholz, also das jüngste, dient dem Transport der Nährstoffe. Wenn ein Baum soweit gewachsen ist, daß das innere Splintholz nicht mehr dicht an der Bastschicht liegt, kommt es in den Zellen zu einer chemischen und physikalischen Veränderung: es entsteht das Kernholz. Das in den Kernholzzellen abgelagerte Material macht es dunkler als das Splintholz und verbessert üblicherweise teine Beständigkeit.

Die Bezeichnungen *Hartholz* und *Weichholz* beschreiben weder Festigkeit noch Zähigkeit. Weichholzbäume sind kenntlich an ihrem kegelförmigen Wuchs und haben oft Nadeln. Hartholzbäume können sowohl immergrün sein wie auch ihre Blätter verlieren; ihr Laub unterscheidet sie von Weichholzbäumen. Beide Arten von Bäumen haben *Fasern* oder *Tracheiden:* lange, spitz zulaufende Zellen, die als tragendes Element dienen. In Hartholzbäumen werden die Nährstoffe durch ein System von Kapillaren transportiert. Weichholzbäume haben ein System dünnwandiger Tracheiden, die sich im Frühjahr bilden und die Nährstoffzufuhr regulieren. Zusätzlich haben sie dickwandige, später entstandene Tracheiden, die der Festigkeit dienen. Nährstoffe werden in beiden Holzarten auch horizontal vom Kern zur Borke durch Zellstrukturen transportiert, die *Markstrahlen* genannt werden.

Die überwiegende Zahl der Fasern in einem lebendem Baum sind vertikal angeordnet. Wird der Stamm in Kanthölzer aufgeschnitten, dann liegt die lange Seite immer parallel oder fast parallel zu den Holzfasern, man sagt auch „mit der Faser“. Wie gerade die Holzfasern verlaufen, ist von Art zu Art unterschiedlich, grundsätzlich kann man aber sagen, daß die Fasern im Kern- und im Splintholz gerader verlaufen als in der Markschicht, wo die Fasern eine etwas wirre Struktur haben. Die Markstrahlen ziehen sich senkrecht zu den Holzfasern durch den Stamm und sind mehr oder weniger radial angeordnet. Sieht man sich das Hirnholz eines Stammes an, dann erscheinen die Markstrahlen wie die Speichen eines Rades.

Einige Holzarten – Sitka Spruce ist sicherlich das deutlichste Beispiel – haben besonders viele Markstrahlen und lassen sich daher auch sehr schwer in Längsrichtung auftrennen. Man spricht dann von

einer besonders hohen *Querfestigkeit.* Andere Sorten, wie Redwood und Western Red Cedar besitzen wenige Markstrahlen und neigen deshalb auch eher zum Splittern.

Die Schnelligkeit, mit der ein Baum wächst, hängt einmal von seiner Art ab, kann aber auch bei gleichen Holzarten unterschiedlich sein, abhängig von Boden- und Wetterbedingungen. Wir haben Stämme von Sitka Spruce gesehen mit nicht mehr als acht Jahresringen pro Zoll (radial gemessen) – was bedeutet, daß der Stamm im Durchmesser um 6,5 mm pro Jahr gewachsen ist –, und wir haben Holz derselben Art gesehen mit 30 Jahresringen pro Zoll, ein Hinweis dafür, daß der Durchmesser pro Jahr um nur 1,7 mm zugenommen hat. Langsam wachsende Bäume, also solche mit einer hohen Anzahl von Jahresringen im Verhältnis zum Durchmesser, haben einen größeren Anteil spätes Holz als schnell wachsende Bäume. Daher ist das Holz aus langsam wachsenden Bäumen gewöhnlich schwerer und fester.

Vom Stamm zum Schnittholz

Gefällte Baumstämme werden für verschiedene Zwecke weiterverarbeitet: für Papier, Chemikalien und als Schnittholz. Den Bootsbauer betreffen die Techniken, die man für die Herstellung von Planken und Furnieren benutzt. Für beides werden zwei verschiedene Methoden angewandt und jedesmal ist eine vorzuziehen, wenn das Holz für den Bau eines Bootes benutzt werden soll.

Man kann Planken aus einem Baumstamm auf zwei verschiedene Arten schneiden. Beim gewöhnlichen *Brettschnitt* liegen alle Schnitte parallel und die Jahresringe werden im Winkel zwischen 0° bis 45° angeschnitten. Beim *Radial- oder Wagenschottschnitt* werden die Jahresringe in einem Winkel von 45° bis 90° angeschnitten, die Planken liegen also etwa parallel zu den Markstrahlen. Obwohl die Terminologie für beide Einschnittarten auf dem Markt etwas durcheinander geht – der Unterschied zwischen beiden ist von großer Bedeutung.

Sperrholz wird aus einzelnen Furnierlagen hergestellt, die in der Art miteinander verleimt werden, daß die Fasern jeder Lage im rechten Winkel zu denen der vorherigen liegen. Die Furniere können wiederum *geschält* oder *gemessert* sein. Beim Schälfurnier wird der Stamm an einem Messer vorbeigedreht und damit „abgepellt". Das geht soweit, daß zum Schluß nur noch ein Rest von vielleicht 15 cm übrigbleibt. Um Messerfurniere, die etwas seltener sind, herzustellen, wird der Stamm zunächst in vier oder acht Blöcke aufgeteilt und dann sozusagen in Scheiben abgeschnitten.

Holz und Feuchtigkeit

Frisch eingeschlagenes Holz, das – wie auch immer – aufgesägt wird, besitzt zwei große Probleme. Kernholz, Splintholz, frühes Holz und spätes Holz, die alle leicht unterschiedliche Dichte und auch verschiedene Eigenschaften haben, können in derselben Planke vereint sein. Ein hoher Feuchtigkeitsgehalt, der ungleichmäßig zwischen Kern- und Splintholz verteilt ist, ruft für den Bootsbauer Schwierigkeiten hervor, die in vielen anderen Fällen gar nicht auftreten würden. Holz bezieht seine Festigkeit aus der Zellulose, dem Lignin und der Halbzellulose und seine größte Schwäche von der zweiten Komponente, nämlich dem Wasser.

Der Feuchtigkeitsgehalt von Holz wird als Prozentsatz des Holzgewichtes ausgedrückt, nachdem es ofengetrocknet ist. In einem lebenden Baum, in dem Wasser und Wasserdampf die Zellräume ausfüllen und auch von den Zellwänden gespeichert werden, erreicht der Feuchtigkeitsgehalt Beträge zwischen 30% bis 200%. Speziell im Weichholz enthalten das Kern- und das Splintholz des gleichen Baumes unterschiedliche Wassermengen. In Western Red Cedar, einem extremen Beispiel, enthält das Splintholz fast fünfmal soviel Wasser wie das Kernholz. Während also Splintholz generell „nasser" als Kernholz ist, gibt es Bäume wie Birke, Eiche und Rosenholz, bei denen genau das Gegenteil der Fall ist.

Wenn der Baum gefällt wird, ist das Holz „grün". Die Feuchtigkeit verbleibt in den Zellen selbst und auch in den Zellwänden. Dann werden Wasser und Nährstoffe an die Umgebung abgegeben und das Holz erreicht seinen *Fasersättigungspunkt.* Die Zellwände sind immer noch mit Wasser gesättigt, aber die Zellen selber sind ausgetrocknet. In diesem Zustand liegt der Feuchtigkeitsgehalt zwischen 25% und 30% des Trockengewichtes. Oberhalb des Fasersättigungspunktes ist das Holz dimensionsstabil, unterhalb jedoch nicht.

Der Wasserverlust im Holz geht nun weiter, bis ein *Gleichgewichtszustand* im *Feuchtigkeitsgehalt* erreicht ist, bei dem kein weiteres Wasser aufgenommen noch abgegeben wird. Die Zellwände trocknen aus, werden steifer und schrumpfen, bis der Feuchtigkeitsgehalt in einem Gleichgewicht mit Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit der Umgebung liegt. Das Holz sucht ständig dieses Gleichgewicht, solange es unterschiedlichen Umgebungsbedingungen ausgesetzt wird. An jedem Tag, wie sich auch Temperatur und Luftfeuchtigkeit ändern, wird ungeschütztes Holz Wasserdampf aufnehmen oder abgeben, um den Gleichgewichtszustand zu

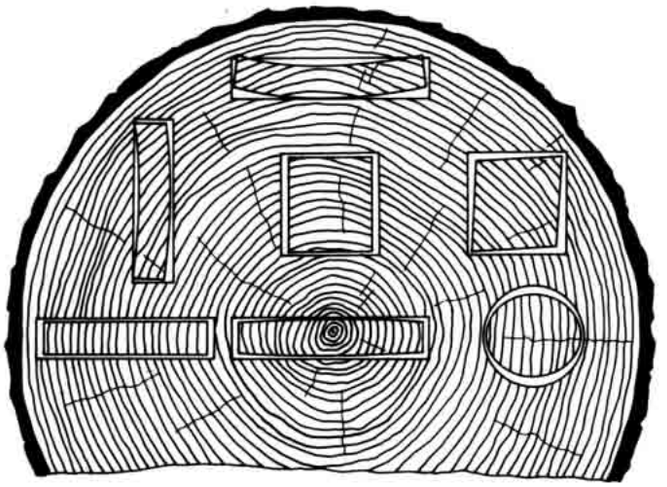


Bild 5.9 – Schrumpf und Verformung von Holz aus verschiedenen Bereichen des Stammquerschnitts als Folge der Lage zu den Jahresringen. Der tangentiale Schrumpf ist etwa doppelt so groß wie der radiale. (Aus: *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material,* U.S. Department of Agriculture Handbook, No.72, Seite 3 – 10).

erhalten. Eine langandauernde Wechselbelastung durch Kontraktion und Ausdehnung führt zu einer Zerstörung der Fasern.

Kernholz und Splintholz haben zu Beginn des Trocknungsvorganges einen unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalt und erreichen daher den Fasersättigungspunkt und den Gleichgewichtszustand zu unterschiedlichen Zeiten. Während dieses Trocknungsvorganges schrumpft das Holz, die Zellen haben die Tendenz, aufeinander Zug auszuüben und sich zu straffen. Das hat nun die erwünschte Wirkung, daß das Holz steifer wird. Wenn aber das Kernholz lange vor dem Splintholz der gleichen Planke austrocknet und sich versteift, ruft diese ungleichmäßige Trocknung sehr hohe innere Spannungen hervor, die sich durch Verwerfen, Rißbildung und das Hervortreten der Fasern bemerkbar machen. Radial schrumpft Holz weniger stark als tangential und das führt zu einer weiteren Verformung. Für den Praktiker: Die Schrumpfung betrifft nur die Querabmessungen einer Planke. Eine „grüne“ Planke mit den Abmessungen 3 m x 200 mm x 25 mm ist nach dem Trocknen immer noch 3 m lang, hat aber nur noch eine Breite von 190 mm und ist nur noch 23 mm stark. Bei den tropischen Holzsorten ohne ausgeprägte Jahresringe ist der Schrumpf in tangentialer und radialer Richtung geringer als in den Sorten mit ausgeprägten Jahresringen.

Eine Lösung für das durch die Feuchtigkeit hervorgerufene Problem besteht darin, daß man Planken so einschneidet, daß sie entweder Kernholz oder Splintholz enthalten, aber nicht beides. Im Wagenschott geschnittene Bretter, die das Splintholz nur an den Kanten haben und die eben mehr radial als tangential geschnitten sind, schrumpfen und dehnen sich sehr viel weniger aus als im Brettschnitt gesägtes Holz. Planken, die im Wagenschottschnitt gesägt werden, sind dimensionsstabiler und normalerweise auch etwas fester und leichter zu bearbeiten. Bei Holz, das im Brettschnitt gesägt wurde, erscheint das harte späte Holz und das weiche frühe Holz in breiten Streifen auf einem Großteil der Oberfläche und verursacht Schwierigkeiten beim Schleifen, Hobeln und bei der Oberflächenbearbeitung. Schälfurniere werden ohne Rücksicht darauf hergestellt, ob man Kernholz, Splintholz oder Jahresringe anschneidet und unterliegen daher erheblichen inneren Spannungen. Das Messerfurnier wird dagegen senkrecht zu den Jahresringen geschnitten und ist erheblich gleichmäßiger und stabiler.

Eine andere und manchmal erheblich praktischere Methode zum Abbau der inneren Spannungen besteht darin, daß man das Holz in dünne Bretter zum Trocknen aufsägt. Die Volumenverringerung zu einem Zeitpunkt, indem das Holz noch oberhalb des Fasersättigungspunktes liegt, vermeidet, daß sich während des Trocknungsvorganges übermäßige Spannungen ausbilden. Wir schneiden alles Holz, das dicker als ein Zoll ist, auf und lamellieren Kiele und Balkweger, die größere Abmessungen erfordern. Das ist meistens sehr viel einfacher, als wenn man versuchen würde, ein Holz mit genau den Abmessungen zu finden, wie man es für einen bestimmten Zweck braucht. Und selbst wenn wir ein solches Stück Holz finden, ziehen wir das Lamellieren vor.

Holzfeuchte und mechanische Eigenschaften

Senkt man bei Holz den Feuchtigkeitsgehalt vom Fasersättigungspunkt um 5%, kann man die Bruchfestigkeit in Bezug auf Druck und Biegung leicht verdoppeln oder bei einigen Hölzern sogar verdreifachen. Der Grund hierfür ist die Verfestigung und Versteifung der Zellwände beim Austrocknen. Nicht alle Festigkeitswerte ändern sich so dramatisch. Abb.l0 gibt die Durchschnittswerte des Anstiegs der mechanischen Eigenschaften mehrerer Holzsorten bei einer Senkung des Feuchtigkeitsgehaltes um 1% an. Dies sind Durchschnittswerte aus Versuchen. Multipliziert man die Tabellenwerte, stellt man fest, daß eine Senkung des Feuchtigkeitsgehaltes im Holz eine erhebliche

Steigerung der mechanischen Festigkeit mit sich bringt.

Diese Daten sind Durchschnittswerte für verschiedene Holzsorten und daher für eine ingenieurmäßige Auslegung nicht geeignet. Wir bringen sie hier nur, um deutlich zu machen, daß bis zu einem gewissen Grade trockenes Holz ein Boot fester macht. Der prozentuale Festigkeitsanstieg ist jeweils ein Durchschnittswert für den gesamten Feuchtigkeitsbereich zwischen 25% und 0%. Der erste Versuch beweist zum Beispiel, daß die Faserspannung an der Grenze der elastischen Verformung bei statischer Biegung um 5% gesteigert werden kann. Dieses gilt für jedes Prozent Feuchtigkeitsverringerung unterhalb 25% Feuchte. Der Bezugswert für 25% Holzfeuchte ist 100%. 225% wäre dann der entsprechende Wert für 0% Holzfeuchte. Es ist jedoch nicht zulässig, daraus zu folgern, daß sich die Werte in Form einer geraden Funktion ergeben, was 105% bei 24% Feuchte u.s.w. bedeuten würde. Sehr viel wahrscheinlicher ist es, daß bei den meisten Holzsorten der prozentuzale Anstieg höher ist bei der Verringerung des Feuchtigkeitsgehaltes von 25% und bei Annäherung an 0% dann sehr viel langsamer vor sich geht. Obwohl der Einfluß der Feuchtigkeit auf das maximale Lastaufnahmevermögen bei statischer Beanspruchung erheblich ist, sollte der Konstrukteur für die meisten Anwendungsgebiete im Bootsbau hierüber nicht sonderlich besorgt sein. Die meisten Wasserfahrzeuge werden nur bis zu einer Grenze beansprucht, die erheblich unter der maximalen Bruchspannung bei einmaliger Belastung liegt. Der Einfluß der Holzfeuchte bei niedrigerer aber langdauernder Wechselbelastung in Richtung Ermüdung ist ein sehr viel wesentlicheres Thema. Vereinzelte neue re Versuchsdaten und die vorläufigen Ergebnisse, die von der Firma Gougeon ermittelt wurden und sich auf die Ermüdungsfestigkeit beziehen, zeigen, daß der zerstörende Einfluß eines höheren Feuchtigkeitsgehaltes sehr viel geringer wird oder gar verschwindet, wenn wir uns der Grenze von 10 Millionen Lastwechseln und darüber nähern. Diese ersten Erkenntnisse erfordern jedoch noch eine Untermauerung, bevor das Ausmaß dieser Erscheinung gen au interpretiert werden kann.

Bild 5.10 – Mechanische Eigenschaften.
Durchschnittlicher Anstieg der Werte bei Senkung der Holzfeuchte um 1% vom Faser-Sättigungspunkt [1, 2]

	Anstieg %
Statische Biegung	
Faserspannung an der Proportionalitätsgrenze	5
Bruchspannung	4
Elastizitätsmodul	2
Arbeitsaufnahme an der Proportionalitätsgrenze	8
Schlagzähigkeit	0,5
Biegeschlagversuch	
Faserspannung an der Proportionalitätsgrenze	3
Arbeitsaufnahme bis zur Proportionalitätsgrenze	4
Druckfestigkeit in Faserrichtung	
Faserspannung an der Proportionalitätsgrenze	5
Maximale Bruchfestigkeit	6
Druckfestigkeit senkrecht zur Faser	
Faserspannung an der Proportionalitätsgrenze	5,5
Härte, Hirnholz	4
Härte, quer zur Faser	2,5
Schubfestigkeit in Faserrichtung	3
Zugfestigkeit quer zur Faser	1,5

[1] Etwa 24% bei den meisten Hölzern.

[2] Literatur: „Strength and Related Properties of Woods", V.S. Department of Agriculture Technical Bulletin No. 479. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material, V.S. Department of Agriculture Handbook, No. 72.

Holz/Epoxid Komposite

Holz ist ein fester, leichter, steifer Werkstoff, der gegen Ermüdung widerstandsfähig ist. Einige der Nachteile, die dem Holz als Baumaterial anhaften, haben ihren Ursprung in Wuchsfehlern, wie z.B. Ästen und ungleichmäßigem Faserverlauf, aber die meisten hängen doch mit der Holzfeuchte zusammen. Indem wir Holz als Verstärkungsfaser benutzen, die man mit Hilfe von Epoxidharz in viele gewünschte Formen bringen kann, sind wir in der Lage, die Vorteile zu nutzen und die Schwierigkeiten auszuräumen.

Wenn man Holz in einen Kompositwerkstoff mit Harz einbettet, so ist das Hauptziel dabei, die Fasern weitestgehend gegen Feuchtigkeit zu schützen. Holz behält seine guten mechanischen Festigkeitswerte und bleibt dimensions stabil , wenn man es schafft, unterschiedliche Feuchtigkeitsgrade vom Holz fernzuhalten und den Feuchtigkeitsgehalt des Holzes selbst auf einem niedrigen Wert zu stabilisieren.

Bei fachmännischer Zusammenstellung und Verarbeitung kann der neue Holz/Epoxid Kompositwerkstoff auch als Mittel benutzt werden, um die Fehler und Unregelmäßigkeiten von Schnittholz zu unterdrücken und die Druckfestigkeit zu verbessern. Die Gefahr, daß aussteifende Elemente eines Bootes brechen, läßt sich weitestgehend durch die Wahl von lamellierten Stringern und Spanten ver-

meiden, die aus mehreren Lagen anstelle eines einzigen Stückes Massivholz hergestellt sind. Das trifft umso mehr zu, wenn die Faserrichtung innerhalb des lamellierten Bauteiles so gewählt werden kann, daß sie die vorhersehbaren Kräfte aufnimmt.

Wir versiegeln alle Holzoberflächen, sowohl diejenigen, die mit Wasser in Berührung kommen als auch diejenigen, die sich an der freien Luft befinden. Wir benutzen hierzu WEST SYSTEM Epoxidharz und verarbeiten es sowohl als Leim oder Kleber in allen Verbindungen, wie auch zwischen den einzelnen Lagen der Bauteile. Wenn das Harz in der richtigen Menge aufgebracht wird, bildet es einen gleichmäßigen Film, der auf den außenliegenden Flächen als Feuchtigkeitssperre dient, aber dieselbe Funktion auch bei Verbindungen und zwischen den einzelnen Lagen übernimmt.

Diese Dampfsperre ist nicht perfekt, aber sie ist sehr viel sinnvoller, als das Boot in Plastik einzuwickeln. Das Eindringen der Feuchtigkeit in das Holz wird durch diesen Überzug so weitgehend verhindert, daß eine Veränderung der Holzfeuchte nur minimal auftreten kann. Wenn trockenes Holz, das mit unserem Harz beschichtet ist, in eine mit Feuchtigkeit gesättigte Klimakammer gelegt wird und dort monatelang verbleibt, dann wird auch der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes steigen. Unter normalen Umständen ist die Veränderung der Holzfeuchte von Holz/Epoxid-Kompositen so langsam, daß die Holzfeuchte praktisch im Gleichgewichtszustand mit der durchschnittlichen jährlichen Luftfeuchtigkeit bleibt. In den meisten Gegenden liegt dieser Gleichgewichtszustand bei 8% – 12% Feuchtigkeit.

Eine ausreichende Dampfsperre läßt sich auf Holz durch zwei Beschichtungen mit WEST SYSTEM Harz herstellen, die dann allerdings nicht mehr abgeschliffen werden dürfen. Zusätzliche Beschichtungen sind erwünscht, besonders dann wenn das Boot unter sehr ungleichmäßigen klimatischen Bedingungen benutzt wird. Aber irgendwann hört dieser Vorteil zusätzlicher Anstriche auf, nämlich da, wo der erhöhte Schutz keine praktischen Auswirkungen auf die Holzfeuchte mehr hat, dafür aber das Boot schwerer macht. Alles, was über fünf Anstriche hinausgeht, erhöht zwar die Widerstandsfähigkeit gegen Abrieb, trägt aber als Dampfsperre nichts mehr bei.

Der Harzverbrauch für das Verleimen und Beschichten eines Bootskörpers ist recht beträchtlich. Obwohl die Werte je nach Bauverfahren unterschiedlich sind und sehr von der Rumpfgröße abhängen, ist es nicht ausgeschlossen, daß 25% des reinen Rumpfgewichtes vom Harz gestellt werden, 20% sind allerdings typischer. Die Eigenschaften des Holzes dominieren in diesem Verbundwerkstoff, aber da der Anteil des Epoxids recht hoch ist, haben auch die mechanischen Eigenschaften des Harzes einen großen Einfluß auf die des Kompositwerkstoffes. Daher darf man erwarten, daß das Harz mehr beiträgt als nur zusätzliches Gewicht.

Die Epoxidharz-Technologie erlaubt es, die Harze für einen großen Anwendungsbereich in Bezug auf ihre Eigenschaften hin zu modifizieren. Man kann z.B. sehr flexible Harze formulieren, die gegen Einzel-Stoßbelastung sehr widerstandsfähig sind, die aber andererseits wenig beitragen können, wenn es um eine Erhöhung der Steifigkeit und Festigkeit eines gesamten Rumpfes geht. Flexible Harze weisen möglicherweise auch eine hohe Verformung auf, die wiederum die Ermüdungsfestigkeit bei höheren Belastungen verringert.

WEST SYSTEM Epoxidharze sind speziell formuliert worden, um die höchst erreichbaren mechanischen Eigenschaften zu erzielen und zugleich genügend Festigkeit und Flexibilität zu haben, damit die in einem Boot vorhandenen leichten Verformungen aufgenommen werden können. Hauptantriebsfeder für uns bei der Entwicklung der WEST SYSTEM Epoxidharze war es, ein Harz zu schaffen, daß eine ausgezeichnete Ermüdungsfestigkeit garantiert. Holz ist in dieser Beziehung eines der widerstandsfähigsten Materialien auf Erden. Jeder Kleber, mit dem man Holzverbindungen herstellt, muß also die gleichen guten Eigenschaften haben, wenn man nicht die des Holzes automatisch vermindern will. Wir haben eine Menge Ermüdungsversuche mit WEST SYSTEM Epoxid durchgeführt und haben Werte von zehn Millionen Lastwechseln erreicht, vergleichbar etwa 40% der insgesamt möglichen Torsions-Schubfestigkeit (Siehe Anhang B).

Die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes

Will man Holz im Kompositverfahren mit WEST SYSTEM Harz verarbeiten, ist es unbedingt notwendig, die Holzfeuchte bei maximal 12% zu halten. 8% – 12% Feuchtigkeit ist ideal. Man kann Boote auch mit Holz bauen, das 18% Feuchte aufweist, aber, im Laufe der Lebensdauer wird das Holz versuchen, ein niedrigeres Gleichgewicht herzustellen, dabei Feuchtigkeit abgeben, was wiederum zu eingebauten Spannungen führt.

Wie wir bereits erklärt haben, hängt die Holzfeuchte von der relativen Luftfeuchtigkeit und der Umgebungstemperatur ab. Für jede Temperatur und die dazugehörige Luftfeuchtigkeit sucht sich

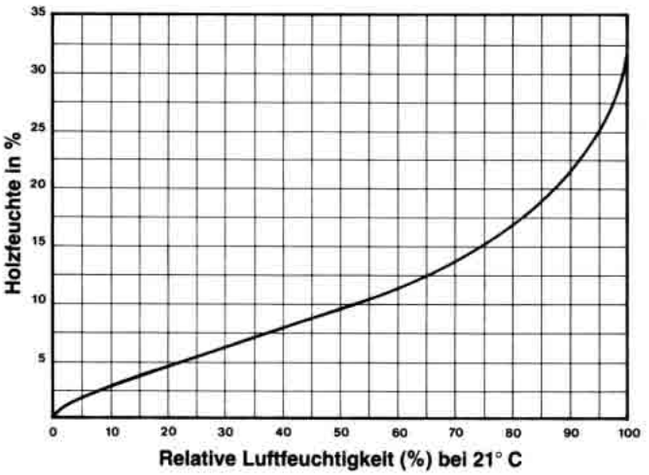


Bild 5.11 – Gleichgewichtszustand der Holzfeuchte als Funktion der relativen Luftfeuchtigkeit.

das Holz einen bestimmten Feuchtigkeitsgrad, d.h. es nimmt Feuchtigkeit auf oder gibt sie ab, bis ein Gleichgewichtszustand erreicht ist. Wir halten unsere Werkstatt auf einer Temperatur von 18° C mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50%. Bei diesen Bedingungen liegt der Gleichgewichtszustand bei 8%, und das meiste Holz, das wir verarbeiten, liegt in seiner Feuchte bei diesem Wert.

Die klimatischen Bedingungen sind je nach geographischer Lage unterschiedlich, aber auch die Bauweise der Werkstatt spielt hierbei eine Rolle. In den meisten Fällen wird sich aufgrund der vorherrschenden Witterungsbedingungen ein Gleichgewichtszustand bei 12% einstellen. Abb.11 zeigt das Gleichgewicht in Prozenten von Holzfeuchte als Funktion der relativen Luftfeuchtigkeit. Diese Grafik gilt nur für die eine Temperatur.

Die Zeitspanne, die Holz benötigt, um den Gleichgewichtszustand zu erreichen, hängt davon ab, wie groß der Unterschied zwischen derzeitiger Feuchtigkeit des Holzes und dem Prozentsatz ist, bei dem das Gleichgewicht erreicht wird, wie auch von der freien Oberfläche und dem Volumen. Holz erreicht den Gleichgewichtszustand ,nun einmal schneller, wenn der Unterschied größer ist. Extrem nasses Holz gibt sehr schnell seine Feuchtigkeit in der Trockenkammer ab, und sehr trockenes Holz nimmt ebenso schnell Feuchtigkeit in einem Dampfbad auf. Dünne Furniere, die eine sehr große Oberfläche und ein kleines Volumen besitzen, trocknen bis zur Brüchigkeit oder saugen die Feuchtigkeit in einem Maße auf, daß sie sehr weich werden, alles innerhalb von Stunden. Ganze Stämme, die also ein großes Volumen und eine kleine Oberfläche haben, brauchen mitunter Jahre, um dieses Gleichgewicht zu erreichen.

Wenn Zweifel über den Feuchtigkeitsgehalt des Holzes bestehen, sollte man es prüfen. Diese Prüfungen sind bei neugekauftem Holz notwendig und auch bei solchem, das unter zweifelhaften Bedingungen gelagert wurde. Wir benutzen hierzu ein elektronisches Testgerät, aber diese Geräte sind teuer und bei nur gelegentlichem Gebrauch zahlen sich die Kosten nicht aus. Manchmal haben Bauingenieure und auch Holzhändler solche Feuchtigkeitsmesser und prüfen die Holzfeuchte bei angelieferten Probestücken. Wenn keine Meßgeräte zur Verfügung stehen, kann man den Versuch auch in der Küche durchführen.

Zur Feuchtigkeitsprüfung wird ein Probestück Holz vor und nach dem Trocknen bei 100° C gemessen. Man kann leider nicht vorhersagen, wie schnell das Holz austrocknet, weil das von verschiedenen Variablen abhängt, wie Abmessungen des Probestückes und ursprünglicher Feuchtigkeitsgehalt. Da hilft nur, das Holz immer wieder in den Ofen zu legen und alle halbe Stunde das Gewicht festzustellen, bis keine weitere Gewichtsabnahme mehr erfolgt, der Feuchtigkeitsgehalt also auf null gesunken ist.

Mit Hilfe der folgenden Formel läßt sich nun die prozentuale Feuchtigkeit des Holzes bestimmen:

$$P = \frac{100\ (W_1 - W_2)}{W_2}$$

Hierin bedeutet
W_1 Gewicht vor dem Trocknen,
W_2 Gewicht nach dem Trocknen,
P prozentuale Holzfeuchtigkeit vor dem Trocknen.

Trockenfäule und Schädlingsbefall

Während man einige Folgen der Holzfeuchtigkeit dadurch vermeiden kann, daß man sehr sorgfältig im Wagenschottschnitt gesägte Bretter oder erstklassiges Messerfurnier wählt und außerdem die Holzfeuchte kontrolliert, sind andere Folgen nicht so leicht zu beherrschen. Wenn der Feuchtigkeitsgehalt nahe des Fasersättigungspunktes liegt, neigt abgelagertes Holz zu Pilzbefall, Trockenfäule oder Braunfäule. Das ruft in jedem Jahr einen Schaden von Hunderten von Millionen DM an Holzkonstruktionen aller Art hervor; hierdurch sind sicherlich mehr hölzerne Schiffe verloren gegangen als durch alle Stürme und Seeschlachten der Geschichte.

Weder sehr trockenes noch voll unter Wasser befindliches Holz neigt zum Zerfall – Holz, das über dreitausend Jahre lang in ägyptischen Gräbern bei konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit lag, hat keine seiner physikalischen Eigenschaften eingebüßt –, aber das Holz in einem Boot ist normalerweise feucht und, wenn Sauerstoff hinzutritt und die Temperaturen steigen, neigt es zum Pilzbefall. Diese Pilze rufen dadurch Fäule hervor, daß sie sich von der Zellulose in abgelagertem Holz ernähren. Das erkennt man daran, daß das Holz brauner wird und brechen, schrumpfen oder einfach zusammenfallen kann. Die Mittel, die man anwendet, um den Holzschwamm zu bekämpfen, laufen im allgemeinen darauf hinaus, daß man ihre Nahrung vergiftet. Die meisten Holzschutzmittel, die auf diese Art wirken, haben bei Booten nur eine begrenzte Anwendbarkeit, da sie in einer wassergesättigten Atmosphäre sehr schnell herausgelöst werden.

Wir schlagen gegen Schwamm und Trockenfäule eine andere Lösung vor. Die Bakterien, die braune Fäule hervorrufen, benötigen sowohl Nahrung wie auch Sauerstoff, um lange genug zu leben, wenn sie einen Schaden hervorrufen sollen. Bei warmem Wetter sind die Bakterien ausgesprochen aktiv, aber bei Temperaturen über 32°C und unter 10°C richten sie nicht viel Schaden an. Im Gegnsatz zum Namen Trockenfäule kann diese Schädigung nicht in trockenem Holz oder in Holz auftreten, das nur durch feuchte Luft angereichert wurde. Dieses Problem tritt auch dann nicht auf, wenn das Holz mit Wasser so gesättigt ist, daß Luft nicht in das Innere der Zellen gelangen kann.

Es ist leider unmöglich, Holzboote wirklich trocken zu halten. Wenn man allerdings Holz in WEST SYSTEM Epoxid einkapselt, kann der Feuchtigkeitsgehalt den Fasersättigungspunkt gar nicht erreichen und das Holz wird daher nicht von den Bakterien angegriffen. Eine Harzbeschichtung ist eine weitere Versicherung gegen Fäule, da die Sauerstoffzufuhr unterbrochen wird.

Das Einkapseln in WEST SYSTEM Epoxidharz scheint das Holz auch noch gegen zwei andere Schädlinge zu schützen. Versuche haben ergeben, daß eine äußere Beschichtung mit WEST SYSTEM Harz die Gefahr eines Termitenbefalls einschränkt.

Auch Teredos und andere im Wasser lebende Holzschädlinge scheinen eine Beschichtung aus WEST SYSTEM Harz nicht zu durchdringen, obwohl es über dieses Phänomen bisher noch keine wissenschaftlichen Untersuchungen gegeben hat. Diese Schädlinge greifen z.B. die Unterkante eines hölzernen Ruders oder Schwertes an, dringen aber nicht tiefer in das Holz ein als bis zur ersten Leimschicht.

Kapitel 6

Der Holzkauf

Bootsbauer verbrauchen in Deutschland wie auch in den meisten anderen Ländern nur einen kleinen Prozentsatz des Holzes, das verkauft wird. Es ist also kein Wunder, daß nur wenige Holzhändler am Ort die Qualität und die Holzarten anbieten, die man für den Bootsbau braucht. Es kann sogar schwierig sein, ein bestimmtes Material zu finden, aber man sollte sich ein paar Gedanken machen, bevor man an den Einkauf herangeht. Schnittholz, Sperrholz und Furnier sind bei weitem die billigsten Materialien, die in den Bau des Bootes gehen. Man sollte also Hölzer höchster Qualität kaufen. Wenn man den Verschnitt berücksichtigt, der durch Äste oder einen starken Wechsel der Faserrichtung notwendig wird, dann sieht man, daß das beste Holz immer noch ein „Gelegenheitskauf" ist. In den Bootsbau muß man eine so enorme Zeit investieren, daß es wirklich sinnvoll ist, die Langlebigkeit dieser Investition dadurch zu garantieren, daß man nur die besten, ausgesuchtesten Hölzer verwendet.

Nicht vergessen darf man, daß der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes zum Zeitpunkt der Verarbeitung über Erfolg oder Mißerfolg des Projektes entscheiden kann. Wie wir in Kapitel 5 ausgeführt haben, ist Holz fest, steif und dimensionsstabil, wenn die Holzfeuchte niedrig liegt. Eine sorgfältige Auswahl und Lagerung des Holzes bei aufmerksamer Beobachtung des Feuchtigkeitsgehaltes zwischen 8% und 12% wird die Gefahr von Problemen, die mit der Feuchtigkeit zusammenhängen, verringern und die Effektivität des WEST SYSTEM Epoxid-Harzes voll ausschöpfen.

In späteren Kapiteln werden wir die Besonderheiten der Hölzer diskutieren, die wir für die verschiedenen Bauweisen des Rumpfes und der Einrichtung benötigen. Die in diesem Kapitel allgemeiner gehaltenen Informationen sind in jedem Fall nützlich, ganz gleich, ob man ein traditionell geplanktes Boot bauen will, einen formverleimten Rumpf, ein leistengeplanktes Kanu oder eine Knickspantkonstruktion, bzw. ein Boot in Angriff nehmen will, das aus verformten Sperrholzplatten besteht.

Die Holzbestellung

Man muß sich darauf einstellen, daß der Holzkauf selbst gar nicht so einfach ist. Es kann durchaus sein, daß Ihr Holzhändler am Ort astreine Douglasie (Douglas Fir), Honduras-Mahagoni und Esche anbietet, abet" die Tatsache, daß er diese Hölzer führt, bedeutet nicht, daß er den Bedarf an Bootsbauhölzern decken will, sondern wird von anderen Abnehmern diktiert: Bauwirtschaft, Modellbauern und Drechslereien. Sehr selten wird ein Händler Sitka Spruce oder Zeder im Programm haben. Wir hoffen immer noch, daß die zunehmende Beliebtheit hölzerner Boote auch einen positiven Einfluß auf die Lagerbestände von hochwertigem Bootsbauholz haben wird.

Wer Bootsbauhölzer nicht in erreichbarer Nähe findet, kann sie bei den wenigen Fachhändlern bestellen. Frachtraten für nichtverarbeitetes Schnittholz sind verhältnismäßig niedrig, also sind auch die Versandkosten über weite Entfernungen durchaus vertretbar. Da diese Händler eben einen großen Markt bedienen und sich auf bestimmte Holzsorten und Qualitäten spezialisiert haben, können sie hochwertiges Material zu niedrigen Preisen anbieten. Allerdings gibt es bei diesem Versandhandel ein Problem: Man muß in den meisten Fällen das Holz bestellen, ohne es gesehen zu haben, so daß der Ruf eines Holzhändlers die einzige Versicherung im Hinblick auf die Qualität des Holzes ist. Abgesehen davon muß man natürlich die Zeitverzögerung mit einkalkulieren, die zwischen Bestellung und Lieferung vergeht.

Manchmal kann man Holz allerdings auch auf andere Weise beschaffen. In Gegenden, in denen Nutzholz eingeschlagen wird, ist es durchaus möglich, Bohlen und Bretter ausgezeichneter Qualität direkt vom Sägewerk zu kaufen. Dieses Holz ist gewöhnlich „grün" und roh gesägt, aber der Preis ist darum auch entsprechend niedrig. Eine weitere Bezugsquelle sind Großhändler, die bestimmte Holzsorten für die Industrie der näheren Umgebung führen. Diese Firmen sind üblicherweise auf größere Abnahmemengen eingestellt, aber mit

einem entsprechenden Preis aufschlag nehmen sie auch Kleinaufträge an.

Die Holzsorte soll festgelegt werden, bevor man den Auftrag vergibt. Man wird wahrscheinlich mehr als eine Sorte benötigen. Entweder man entnimmt die Angaben hierfür den Plänen oder sucht sich bestimmte Hölzer nach ihren physikalischen Eigenschaften aus. Bei den Anfragen wird man feststellen, daß verhältnismäßig wenige der guten Bootsbauhölzer dauernd verfügbar sind. Wenn man also nicht die Sorte findet, die man sich eigentlich vorgestellt hat, kann es notwendig sein, eine andere Wahl zu treffen. Für die meisten Anwendungsgebiete im Bootsbau gibt es verschiedene geeignete Sorten gleicher Qualität, so daß es möglich sein sollte, ein anderes Holz mit ähnlichen mechanischen Eigenschaften und gleicher Dichte zu kaufen. (Siehe Anhang A: Mechanische Festigkeiten ausgesuchter Bootsbauhölzer). Auch der Preis kann bei der Entscheidung eine Rolle spielen.

Sofern es überhaupt möglich ist, sollte man Holz kaufen, das bereits auf etwa 12% Holzfeuchte heruntergetrocknet ist. „Grünes“ Holz ist schwerer als trockenes und bedingt also höhere Frachtkosten. Ist das Holz noch nicht abgelagert, sollte man ihm Zeit lassen, den Gleichgewichtszustand zu erreichen, oder es im Trockenofen künstlich trocknen. Obwohl Holz durch sehr hohe Temperaturen geschädigt werden kann, sind bei uns niemals Probleme mit ofengetrockneten Hölzern aufgetreten. Bevor das Holz weiterverarbeitet wird, sollte man den Feuchtigkeitsgehalt prüfen, wie in Kapitel 5 beschrieben.

Wie lange Holz für das Austrocknen braucht, hängt von verschiedenen Faktoren ab:
– dem Feuchtigkeitsgehalt des Holzes,
– dem Verhältnis von Oberfläche zu Volumen,
– der Dichte (Weich hölzer trocknen üblicherweise schneller als Harthölzer),
– der Temperatur und Luftfeuchtigkeit, in der das Holz gelagert wird.

Es gibt keine magische Formel für die Voraussage, wie lange man warten muß, bis man eine Planke verarbeiten kann. Ein frisches Stück Zedernfurnier von 3 mm Stärke erreicht 8% bis 12% Feuchte in wenigen Wochen, während eine 50 mm starke Planke aus Esche erheblich länger braucht.

Bei der Holzbestellung sollte man die Abmessungen (Dicke, Breite und Länge) aufgeben. Diese Reihenfolge der Maßangaben ist im Holzhandel üblich. Es gibt eine Reihe von Normen, die die Güteklasse der Schnitthölzer festlegen, jedoch stammen sie üblicherweise von den Bauhölzern und sind nicht speziell auf den Bootsbau zugeschnitten.

Wir bevorzugen dünneres Holz gegenüber dicken Bohlen, weil dies nun einmal leichter trocknet und daher schneller weiterverarbeitet werden kann. Wir kaufen allerdings auch sehr dickes Schnittholz, aber nur dann, wenn der Preisvorteil die zusätzliche Arbeit deutlich ausgleicht. Um den Trocknungsvorgang zu beschleunigen und Spannungen abzubauen, sägen wir Holz mit einer Dicke von mehr als 25 mm auf.

Beim Zusammenstellen der Holzliste sollte man die Plankengröße danach festlegen, daß man mit möglichst wenig Verschnitt zu rechnen hat. Wir machen es folgendermaßen: Wenn wir nicht ganz spezielle Abmessungen vorgeben, versuchen wir, die breitesten Planken zu bekommen, die ohne Preisaufschlag angeboten werden. Generell kann man sagen, daß Schnittholz mit mehr als 6 m Länge oder einer Breite von mehr als 200 mm bis 250 mm mehr kostet als Holz kleinerer Abmessungen, und die Preisunterschiede sind so deutlich, daß es sich eigentlich immer lohnt, kürzere Hölzer zu schäften und dünnere Bretter oder Planken in mehreren Schichten zu verleimen.

Sofern über die Oberflächengüte nichts gesagt ist, kann man davon ausgehen, daß die Abmessungen für die rohe Planke ohne Oberflächenbearbeitung angegeben werden: Eine 25 mm dicke Planke ist nur im Rohzustand 25 mm dick und nach dem zweiseitigen Behobein dann vielleicht noch 22 mm.

Bootsbauhölzer werden sowohl roh besäumt wie auch mit sauberer Oberfläche angeboten. Kauft man roh geschnittene Stammware, sollte man auf die Kurzbezeichnungen in den Angeboten achten, die nach den Gütebedingungen für Bauschnittholz nach DIN 4074 folgendermaßem klassifiziert sind:
S scharfkantig,
A vollkantig,
B fehlkantig,
C sägegestreift.

Man kann davon ausgehen, daß die importierten Bootsbauhölzer der Klasse S zuzuordnen sind, d.h. man muß nicht mit Baumkanten rechnen und hat wirklich parallel be säumte Bohlen oder Bretter. Für unseren Betrieb kaufen wir oftmals rohe Hölzer, da wir bei sorgfältigem Sägen und präziser Oberflächenbearbeitung mehr herausholen als es die Sägewerke üblich erweise tun. Preise für Bootsbauhölzer werden oftmals für Rohware angegeben, mit einern Aufschlag für die Oberflächenbearbeitung, falls diese erwünscht ist.

Holzqualität – Worauf man achten muß

Eine eindeutige Norm für die Beschaffenheit von Bootsbauhölzern gibt es nicht. Die üblichen Bezeichnungen beziehen sich auf Oberfläche, Abmessungen und Sägeschnitt, aber nicht auf die Qualität. Obwohl man davon ausgehen darf, daß nur astfreies, sauber gesägten Schnittholz für den Bootsbau infrage kommt, erfordert nun einmal eine hohe Qualität auch einen hohen Preis, was einige nicht so honorige Händler in die Versuchung führen kann, etwas minderwertige Qualitäten beizumischen. Die beste Art sich hiergegen zu schützen, besteht darin, daß man das Holz Stück für Stück „unter die Lupe nimmt", bevor man es kauft und wirklich nur erstklassiges Holz akzeptiert. Ist man gezwungen, sein Holz im Versandhandel zu bestellen, muß man sich vergewissern, daß die Firma für saubere Geschäftspraktiken bekannt ist. Wir haben schon bei vielen Firmen Hölzer bestellt und nur sehr selten gab es eine unterschiedliche Auffassung hinsichtlich der Qualität.

Einige besonders ausgesuchte und gute Hölzer werden als Wagenschottschnitt verkauft. Sie sind den im Brettschnitt hergestellten vorzuziehen, da sie dimensionsstabiler sind, weniger eingebaute Spannungen aufweisen und sich leichter bearbeiten lassen. Die Art des Sägeschnitts kann man sehr leicht erkennen. Man kann am Stirnholz die Qualität „ablesen". Wenn es sich um Wagenschott-Bretter handelt, liegen die Jahresringe senkrecht zur flachen Plankenseite. Qualitativ etwas niedriger anzusetzen sind diejenigen Planken, bei denen die Jahresringe einen Winkel bis zu 45° erreichen.

Man kann diese erwünschten stehende Jahresringe auch dadurch selbst herstellen, daß man dikkere Planken aufsägt. Mit der Kreissäge lassen sich 50 mm oder 75 mm dicke Planken in Vierkanthölzer von 50 mm x 50 mm sägen. Damit hat man nun quadratische Hölzer, die man nun so dreht, daß die Jahresringe im wesentlichen senkrecht verlaufen. Stringer und andere Versteifungselemente eines Bootes, die weniger als 50 mm Stärke haben sollen, können nun wieder aus diesen Vierkanthölzern gesägt werden, so daß auch sie stehende Jahresringe aufweisen. (Siehe Kapitel 20: Vorbereitung für die Beplankung eines Leistenkanus).

In vielen Planken liegt die Faserrichtung nicht genau parallel zur Plattenkante. Mitunter kommt es zu einer starken örtlichen Faserneigung, d.h. die Faser „läuft aus der Faser heraus". Das ist ein Zeichen dafür, daß hier beim Baum ein Ast angesetzt hatte. Eine schwache Faserneigung bis zu 4° gegenüber der Plankenkante ist nicht gravierend. Allerdings sollten Planken mit sehr starker örtlicher Faserneigung nur für Bauteile verwendet werden, die weniger Festigkeit verlangen.

Äste in einem Brett sind sichtbare, gravierende Fehler. Eine örtliche starke Faserneigung, hervorgerufen durch die Nähe eines Astes im Baum ist allerdings sehr viel schwieriger zu behandeln. Die Holzfasern im Bereich von etwa 50 mm Entfernung von einem Ast können ihre Richtung um 20° bis 30° vom üblichen Verlauf ändern, wodurch die Planke extrem geschwächt wird. Man muß also alle vier Seiten einer Planke genau ansehen, um sicher zu sein, daß man nicht eine solche Fehlstelle übersehen hat.

Vermeiden sollte man auch solche Planken, die Hart- und Splintholz aufweisen. Diese beiden Wuchszustände in einem Holz haben zur Folge, daß das Holz ungleichmäßig trocknet und sich in der Planke Spannungen aufbauen können. Erkennbar wird dieses in einer deutlichen Farbveränderung, da Hartholz üblicherweise dunkler ist als Splintholz.

Das Markholz, das direkt aus der Mitte eines Baumes stammt, hat oftmals einen sehr krausen Faserverlauf und läßt sich schwer bearbeiten. Man sollte es also so weit es geht vermeiden. Einige Holzsorten wie Douglas Fir sind mitunter von Harzgallen durchzogen. Harznester, die groß genug sind, um eine deutliche lokale Schwächung zu verursachen, sind leicht erkennbar.

Auch bei sorgfältigster Auswahl wird sich später herausstellen, daß einige Planken besser sind als andere. Wird das Holz geliefert, lohnt es sich daher, jede Planke und jedes Brett noch einmal genau anzusehen und die Lieferung in zwei oder drei Gruppen, je nach ihrer Qualität, einzuteilen. Wir benutzen die besten Planken für solche Bauteile, an die hohe Festigkeitsanfoderungen gestellt werden, wie Rumpf- und Deckstringer und ähnliche Bauteile. Die Hölzer etwas niedrigerer Qualität sollte man für Bauteile zweiter Klasse verwenden, wie z.B. Füllstücke und ähnliches, bei denen der Faserverlauf nicht von gleicher Wichtigkeit ist. In jedem Boot braucht man viele relativ kurze Stücke Holz, daher kann man recht gut um Fehlstellen herumsägen und diese Abschnitte dafür benutzen. Sorgfältige Planung und überlegte Nutzung des eingekauften Holzes sind notwendig, aber es ist durchaus möglich, auch Hölzer etwas niedrigerer Qualität zu benutzen, ohne Kompromisse bei der Festigkeit einzugehen. Ist das Holz bei der Anlieferung noch nicht trocken genug für die Weiterverarbeitung, wird es nach dem Sortieren an einem trockenen Ort aufgestapelt. Dazu werden zwischen die Planken dünne Hölzer gelegt, so daß es seine Feuchtigkeit

leicht abgeben kann, ohne dabei jedoch durch das Eigengewicht durchzubiegen. Wichtiger ist aber, daß die Luft gut über alle Oberflächen hinwegstreichen kann.

Furnier und Sperrholz

Ausgefeilte Herstellungstechniken werden benutzt, um Furniere und Sperrholz herzustellen. Es ist ganz nützlich, wenn man etwas über diese Verfahren weiß, bevor man die Materialien einkauft.

Furniere sind dünne Holzschichten, die aus verschiedenen Holzsorten geschnitten werden können und in sehr unterschiedlichen Stärken angeboten werden. Hierfür gibt es zwei Herstellungsmethoden: Entweder das Holz wird direkt gerade geschnitten, oder es wird von einem rotierenden Stamm abgeschält. Bei dem zuletzt genannten Verfahren wird das Holz zwischen zwei Dornen gehalten und rotiert, während ein Messer kontinuierlich eine gewisse Schichtstärke abpellt. Die Messerfurniere erfordern zunächst einen Zuschnitt des Stammes in der Form, daß man den Stamm in vier Teile zersägt und diese Viertelschnitte wiederum zu Achtecken verarbeitet, die dann in die Messerfurniermaschine eingespannt und an einem geraden Messer senkrecht vorbeigeführt werden, wie in Abb.1 dargestellt. Für beide Verfahren wird das Holz vor der Verarbeitung sehr sorgfältig mit Wasser getränkt.

Sperrholz wiederum wird aus trockenen Furnieren hergestellt, die in Lagen übereinander angebracht werden und zwar dergestalt, daß die Faserrichtung jeweils senkrecht zu derjenigen der beiden angrenzenden Schichten liegt. Wenigstens drei Lagen Furnier braucht man, um Sperrholz zu fertigen.

Der Kauf von Furnieren

Messerfurniere sind den Schälfurnieren aus verschiedenen Gründen vorzuziehen. Schälfurniere sind sehr instabil: Der Tangentialschnitt bedingt eine starke Ausdehnung der Innen-, bzw. Kontraktion der Außenseiten. Messerfurniere sind teurer, aber sie ähneln den im Wagenschott geschnittenen Planken. Sie sind sehr formstabil und haben daher nicht die Neigung, sich zu werfen. Ihr Vorteil besteht zusätzlich noch darin, daß sie in größeren Längen erhältlich sind. Bei den normalen Arbeiten, wie z.B. dem Herstellen eines formverleimten Rumpfes, wo nur ein begrenzter Anpreßdruck aufgebracht werden kann, lassen sich Messerfurniere besser in Position halten und benötigen weniger Klammern.

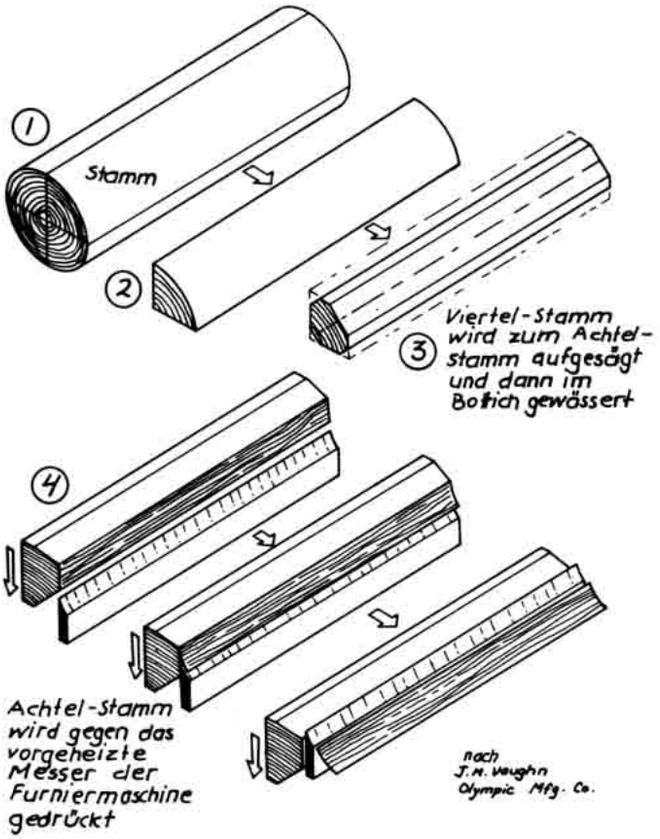


Bild 6.1 – Arbeitschritte bei der Herstellung von Messerfurnier.

Nur wenige Holzhändler bieten Messerfurnier an. Wahrscheinlicher ist, daß man die Furniere direkt von einem Furnierwerk beziehen muß. Für diejenigen, die relativ große Mengen des Materials brauchen, ist das keine Schwierigkeit, da die Herstellungskosten verhältnismäßig niedrig liegen. Furniere werden üblicherweise nach Quadratmetern verkauft. Im Jahre 1985 kostete in den USA ein 3 mm Zedernfurnier etwa $480 pro 100 m^2. Das Furnier wird üblicherweise in Paketen oder Bündeln von etwa 300 mm bis 450 mm Breite geliefert. Jedes Bündel enthält zwischen 50 m^2 und 100 m^2 Furnier. Kleinere Mengen wie man sie z.B. für den Bau eines Dingi benötigt, werden etwas teurer sein und schwieriger zu transportieren.

Messerfurniere mit einer Länge bis zu 4,30 m sind durchaus erhältlich, aber 3 m lange Stücke reichen für die meisten Arbeiten an einem Rumpf aus. Stücke von weniger als 3 m Länge lassen sich bei kleineren Booten mit weniger Verschnitt verarbeiten. Die Breiten sind bei allen Längen recht willkürlich, liegen aber normalerweise zwischen 150 mm und 300 mm. Wie wir noch in späteren Kapiteln erklären werden, sind wir dagegen, die

Furniere in gleichmäßige Breiten aufzuschneiden, bevor man nicht probiert hat, wie sie sich über die Rumpfkontur anlegen lassen und zwar dort, wo die Krümmung am stärksten ist.

Die Dicke der Messerfurniere wird durch das Herstellungsverfahren begrenzt. Die größte Stärke, die man noch ohne Beschädigung des Holzes messern kann, beträgt etwas über 3 mm. Dünnere Furniere benötigen wir kaum, da sich 3 mm starke durchaus in die üblichen Krümmungen biegen lassen.

Wenn Ihnen danach der Sinn steht, können Sie natürlich auch Furniere kaufen und Ihr Sperrholz selber herstellen. Das kostet zusätzliche Zeit, aber es garantiert eine vollständige Kontrolle sowohl über das Holz wie auch die Verleimung. In diesem selbst hergestellten Sperrholz kann man zusätzlich noch die Lagen entsprechend der örtlichen Notwendigkeit legen (z.B. bevorzugte Belastungsrichtungen), und man kann natürlich genau die Längen und Dicken herstellen, die man haben möchte. Wenn man Furniere billig einkaufen und die Arbeitskosten ebenfalls eingrenzen kann und dann zusätzlich noch diese Arbeit organisatorisch bewältigt, kann es durchaus billiger sein, die Sperrholzplatten selbst herzustellen.

Der Kauf von Sperrholz

Sperrholzplatten lassen sich leicht ver- und bearbeiten und ihre Verwendung im Bootsbau wird wiederholt in diesem Buch behandelt. Sperrholz ist ein ausgezeichnetes Material, um die flachen Bauteile in einem Boot herzustellen, und man kann es sogar dafür benutzen, um dreidimensional verformte Flächen geringer Krümmung herzustellen. Das auf dem Markt angebotene Sperrholz wird sowohl für verformte Flächen wie auch für reine Knickspantkonstruktionen benutzt, zusätzlich natürlich für andere Anwendungszwecke. Allerdings hat Sperrholz doch einige Nachteile.

Auf dem Markt werden, wie man feststellen wird, sowohl heimische wie auch Importplatten angeboten. Importiertes Sperrholz ist billiger als das in Deutschland hergestellte. Bei einfachen Importplatten wird oftmals Douglas Fir wenigstens für die Innenlagen benutzt, wenn nicht sogar für die Außenschichten. Obwohl dieses Holz fest und zäh ist, bedeutet das gleichzeitige Auftreten von frühem und spätem Holz, das nun einmal aus dem Schälvorgang resultiert, daß das Holz instabil ist. Unterschiedliche Ausdehnung und Kontraktion in den Innenlagen kann zu Spannungen in der gesamten Platte führen. Geschältes Douglas Fir Furnier ist außerdem schwer in der Oberfläche zu bearbeiten, so daß es sich oftmals anbietet, es mit GFK zu beschichten.

Bootsbausperrholz aus Deutschland, Großbritannien, Israel und den Niederlanden wird hauptsächlich aus mäßig dichten tropischen Holzsorten hergestellt. Okoume (Gabun), Utile (Sipo),

Die für Industrie-Sperrholz genormten Gütegrade der Furniere und ihrer Oberflächen-Beschaffenheit spielen im Bootsbau keine Rolle. Sperrholz, das für den Bootsbau geeignet ist, wird von Herstellern und Fachhändlern in zwei Qualitäten angeboten: als Bootsbauplatte oder als Ausbauplatte. Beide sind koch-und wetterfest verleimt und tragen die Bezeichnung AW 100 oder (bei Importplatten) WBP.
Bootsbauplatten: An dieses Sperrholz werden besonders hohe Anforderungen gestellt. Dazu gehören:

- nur zugelassene Hölzer für Innen- und Außenlagen,
- bevorzugt nur eine Holzart für alle Lagen,
- fugendichte Verleimung,
- Mindestzahl der Lagen je nach Dicke,
- Mindestdicke der Außenlagen,
- Max. Dicke der Innenlagen.

Der Germanische Lloyd hat die Anforderungen in einer Prüfvorschrift zusammengefaßt. Dabei wird je nach Holzart noch in den Festigkeitsgruppen Fl und F2 unterschieden. Geprüfte Platten, von den meisten Herstellern gegen Aufpreis angeboten, tragen den Rollenstempel des GL.

Ausbauplatten: Für den Innenausbau werden in vieler Hinsicht gegenüber den Bootsbauplatten Zugeständnisse gemacht, da die Beanspruchung im Innenraum nicht so hoch ist. Die Innenlagen dürfen dicker sein oder aus Hölzern niedriger Festigkeit und geringerer Beständigkeit bestehen. Bei nicht oder nur einseitig sichtbaren Teilen kann z.B. auch die zweite Deckseite aus Furnieren niedrigerer Qualität sein. Auch stehen Platten zur Auswahl, die als Deckfurnier Holzsorten aufweisen, die besonders dekorativ sind, aber bei Außenverwendung im Bootsbau nicht üblich oder nicht geeignet sind (Kiefer, Esche, Eiche, Rüster, Nußbaum, u.s.w.).

Bild 6.2 – Sperrholz für den Bootsbau

Lauan (Philippinisches Mahagoni), Meranti und Macore sind für den Bootsbau sehr viel besser geeignet als Dou•glas Fir, da sie nicht die ausgeprägten Jahresringe und die damit verbundenen Probleme aufweisen. Alle diese Hölzer lassen sich gut naturlackieren und neigen nur in sehr geringem Maße zur Ausdehnung, bzw. Kontraktion.

Sperrholz für den Bootsbau wird je nach Herkunftsland üblicherweise in zwei Standardgrößen angeboten: 250 x 125 cm und 250 x 172 cm (das Endmaß kann allerdings auch einige cm darunter liegen). Die Anzahl der Lagen hängt von der Stärke der Sperrholzplatte ab, aber auch hier gibt es noch einige Unterschiede. Größere Platten, die dann allerdings meistens bereits in der Fabrik geschäftet werden, sind durchaus erhältlich, aber natürlich mit entsprechendem Preisaufschlag. Wenn wir größere Platten benötigen, schäften wir sie selbst (siehe Kapitel 10: Hinweise für das Schäften von Sperrholz). Was nun die unterschiedliche Anzahl der Schichten betrifft, so kann eine 6 mm Platte entweder aus drei oder auch aus fünf Furnieren bestehen. Die 5-lagige Platte ist in der Herstellung aufwendiger und daher auch teurer, aber sie ist sehr viel ausgeglichener und hat eine sehr viel größere Steifigkeit und Festigkeit in beiden Richtungen.

Wenn man Sperrholz kauft, sollte man auch die Qualität und Holzart der Innenlagen berücksichtigen und die Leime, die zur Herstellung verwendet wurden. Sie müssen unbedingt wasserfest sein. Fehlstellen bzw. Lunker zwischen den Stößen der Innenlagen können zu Schäden führen. Für die Qualitätsbezeichnung von Sperrholzplatten gibt es gen aue Richtlinien, die in Abb.2 genannt sind. Das betrifft sowohl die Außen- wie die Innenlagen, wie auch die verwendeten Holzsorten und die entsprechenden Leime.

Bootsbausperrholz, das man für den eigentlichen Rumpfbau, aber auch alle Außenflächen wie Decks, Aufbauten und Plicht benutzen möchte, sollte entweder den GL-Abnahmestempel tragen oder wenigstens entsprechend denselben Richtlinien hergestellt sein. Hier muß man sich dann allerdings auf die Angaben des Herstellers verlassen können. Auch für Innenausbauplatten ist eine kochfeste Verleimung (AW 100 gemäß DIN 68705 dringend anzuraten).

Wenn man hinsichtlich der Verleimung Bedenken hat, sollte man ein Muster etwa dreißig Minuten lang kochen, es dann eine Stunde im Ofen trocknen und diesen Prozeß wiederholen. Hat die Platte diese Prozedur ohne Schaden überstanden, darf man annehmen, daß sie für den Bootsbau geeignet ist.

Die Bezeichnungen und Markierungen der Platten sind von Land zu Land unterschiedlich. Wer also importiertes Sperrholz kauft, sollte den Händler sehr genau befragen.

Kapitel 7

WEST SYSTEM Produkte

Als wir in den sechziger Jahren damit begannen, Boote professionell zu bauen, hatten wir gewisse Vorstellungen, was wir von den Baumaterialien erwarteten. Wir brauchten praktische, kostengünstige und vielseitige Methoden. Wir wußten, wie man mit Holz arbeitet, als Bootsbesitzer kannten wir auch die Probleme bei der Pflege hölzerner Boote. Wir wollten schnelle, leichte Boote bauen, die aber steif und fest genug waren, um die harten Belastungen von Rennen auszuhalten. Zeit und Geld waren begrenzt, daher durften Materialien und Methoden weder hochgestochen noch teuer sein.

Nach einiger Zeit des Experimentierens fanden wir endlich das, wonach wir gesucht hatten. Der technische Fortschritt nach dem zweiten Weltkrieg hatte zur Entwicklung von Epoxidharzen geführt. Wir fingen an, Epoxid und Holz zusammen zu verarbeiten, indem wir Kompositbauteile herstellten und zwar nach denselben Verfahren, die man beim Bau hölzerner Flugzeuge benutzt hatte. Geleitet von dem Gedanken, daß das Vermögen eines Bootes, einer hohen Einzellast zu widerstehen, bei weitem nicht so wichtig ist wie seine Fähigkeit, den dauernden Wechselbelastungen von Wind und Wetter standzuhalten, modifizierten wir die Epoxidharze, bis wir die beste Abstimmung zwischen Flexibilität und hoher Festigkeit gefunden hatten. Innerhalb weniger Jahre hatten wir eine sichere und effektive Bootsbau-Methode gefunden. Unsere Materialien waren billig und die Baumethoden glichen die Vorteile des Holzes gegenüber seinen weniger erwünschten Eigenschaften aus. Wir verfeinerten unsere Methoden, um Arbeitszeit zu sparen und nutzten diese Zeit, um sichere Verarbeitungsmethoden für das neue Harzsystem zu entwickeln.

Da wir jeden Tag mit Epoxid-Harzen arbeiteten, machten wir uns über die möglichen Kurz- und Langzeitfolgen des neuen Materials in bezug auf die Gesundheit Gedanken. Wir waren sehr vorsichtig bei der Wahl der einzelnen Materialkomponenten. So wie wir einen guten Ausgleich zwischen Flexibilität und hoher Festigkeit suchten, so bemühten wir uns um Harzformulierungen mit gleich guten technischen Eigenschaften, aber gleichzeitig äußerst geringem toxischem Verhalten. Das soll nun nicht bedeuten, daß unsere Produkte überhaupt keine Beeinträchtigung der Gesundheit bewirken können – alle Epoxidharz-Systeme sind in gewissem Grade toxisch – aber WEST SYSTEM Epoxidharz kann mit ruhigem Gewissen verwendet werden, wenn man gewisse Vorsichtsmaßregeln einhält.

1972 brachten wir WEST SYSTEM Harze und Zuschlagstoffe auf den Markt. Seit damals haben wir Methoden wie Material laufend verbessert, und wir haben gleichzeitig immer noch dazugelernt. WEST SYSTEM Epoxid schien ein sehr festes Material zu sein. Nun wissen wir mit Sicherheit – nach ausgiebigen Versuchsprogrammen – daß seine mechanischen Eigenschaften, und hier besonders seine Widerstandsfähigkeit gegen Wechselbelastungen, ausgesprochen hoch sind. Unser Anspruch, daß die von uns entwickelten Bootsbauverfahren bei der Großherstellung von qualitativ hochwertigen Tragflügeln anwendbar sind, hat sich bestätigt. Die Firma Gougeon Brothers wird als führender Hersteller von Kompositbauteilen anerkannt. Nach fünf jähriger Zusammenarbeit mit der NASA bei der Entwicklung von lamellierten Windturbinenflügeln haben wir bewiesen, daß unsere Holz/Epoxid-Komposite leistungsfähige, moderne Materialien sind.

Diversifikation unserer Produkte war unser Ziel, um uns weiterhin die Möglichkeit zu geben, Boote zu bauen und sie zu segeln. Soweit unser Labor Daten für Windturbinenflügel entwickelt, prüfen wir sie auf ihre Anwendbarkeit beim Bootsbau. Wenn wir etwas bei der Harzformulierung oder bei den Anwendungstechniken ändern, prüfen wir wiederum sofort, ob auch das im Bootsbau sinnvoll einzusetzen ist. Verschiedene Laboratorien haben WEST SYSTEM Epoxidharz sehr sorgfältig untersucht, insbesondere im Hinblick auf Ermüdungsverhalten bei Dauer-Wechselbelastung, und nicht zuletzt wurden diese guten Eigenschaften bei seegehenden Rennbooten praktisch erprobt und nachgewiesen. Unsere jüngsten Entwicklungen im Bootsbau spiegeln Jahre der intensiven ingenieurmäßigen Beschäftigung mit Holz und Epoxid wieder.

Die Menge der von uns vertriebenen Produkte wuchs, wie sich die Anwendung des WEST SYSTEM Materials durchsetzte. Wir prüfen immer noch, welche möglichen Zuschlagstoffe zum Harz eine Erhöhung der Festigkeit, der Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtigkeit und gegen Ermüdung bewirken können. Diese laufende Forschung hat z.B. zur Entwicklung eines neuen und sehr viel besseren hochdichten Füllstoffes geführt. Die Formulierung des Epoxidharzes selber ist weiterhin verfeinert worden, so daß sich das Harz nun unter schwierigen Bedingungen noch besser verarbeiten läßt. Wir vermarkten Epoxid, Füllstoffe, Additive, Fasern und Werkzeuge zur Harzverarbeitung weltweit.

WEST SYSTEM Materialien

WEST SYSTEM Harz und Härter sind die Grundstoffe eines Zweikomponenten-Epoxidharzes, das speziell für die Verwendung im Holzbootsbau entwickelt wurde. Unser Epoxid und die zugehörigen Additive sind so formuliert, daß sie die höchst möglichen mechanischen Eigenschaften garantieren und gleichzeitig sicherstellen, daß die Anwendung so einfach wie möglich bleibt. WEST SYSTEM Produkte sind auf Vielseitigkeit hin ausgelegt, so daß der Bootsbauer Harz und Füllstoffe direkt vor der Anwendung in der für eine bestimmte Arbeit notwendigen Zusammensetzung mischen kann.

Ausgehärtetes WEST SYSTEM Epoxid ist ein harter, fester Kunststoff mit überragenden mechanischen Eigenschaften. Es ist ein spezieller Kleber, der gleichzeitig eine wirksame Dampfsperre aufbaut. Werden kleine Mengen Füllstoffe dem angemischten Harz beigegeben, wird das WEST SYSTEM Epoxid ein fugenfüllender Kleber mit hoher Festigkeit. Verbindungen mit diesem Material sind oftmals fester als der Grundstoff Holz in seiner Umgebung. Weitere Kombinationen von WEST SYSTEM Epoxid und Füllstoffen führen zu Mischungen, die sich gut zum Glätten von Oberflächen oder zum Ausfüllen von Spachtelkehlen eignen. Seit vielen Jahren verläßt man sich darauf, daß WEST SYSTEM Epoxidharz ein guter Zwischenträger für Lasten von Holz auf Metall ist. Das Harz dient auch als wirkungsvolle Zwischenschicht, um hohe Punktbelastungen auf eine größere Fläche zu verteilen als normalerweise möglich wäre. WEST SYSTEM Produkte verbinden Glas, Aramid, Graphit und andere synthetische Fasern in ihren üblichen Anwendungen als Komposit- oder Verstärkungsmaterialien. Nach unserem Kenntnisstand sind WEST SYSTEM Epoxidharze die einzigen Harze, die im Hinblick auf hohe Dauerbelastung (10 Mio. Lastwechsel) geprüft worden sind.

Der Erfolg eines jeglichen Epoxid-Kompositbauteils hängt teilweise von der Fähigkeit des Harzes ab, das Holz darunter gegen die Umgebungsfeuchtigkeit abzuschirmen. WEST SYSTEM Epoxid kann keine vollständige Dampfsperre sein, aber bereits zwei Anstriche hiermit verringern den Feuchtigkeitsaustausch in einem solchen Maße, daß die Feuchtigkeit innerhalb des Holzes verhältnismäßig stabil bleibt. Ist der dauernde Feuchtigkeitsaustausch unter Kontrolle gebracht, hat Holz im Voraus bestimmbare mechanische Eigenschaften und bleibt dimensionsstabil. Bei niedriger Holzfeuchte und dem Ausschluß von Sauerstoff können Pilze, die Fäule hervorrufen, nicht überleben.

Eine Feuchtigkeitssperre aus WEST SYSTEM Epoxid schafft eine stabile Grundlage für Farb- und Lackschichten. Holzoberflächen, die durch WEST SYSTEM Epoxid geschützt sind, können sich nicht mehr mit Wasser sättigen. Der Lack haftet daher besser, neigt weniger zur Rißbildung und zum Abpellen, als es bei unbehandeltem Holz der Fall sein würde. Boote, die mit Holz und Epoxid gebaut werden, benötigen weniger Pflege der Oberfläche als es bei traditionellen Holzbooten der Fall ist, und es kann auch nicht zur Blasenbildung kommen wie bei Polyesterbooten. Viele Bootsbesitzer haben WEST SYSTEM Epoxid dazu benutzt, Blasen an GFK-Booten zu reparieren, oder ihre Entstehung zu verhindern. Aus diesem Grund vertreiben wir eine Reparaturpackung für Gelcoatblasen.

Aus Epoxid und Holz hergestellte Boote sind verhältnismäßig billig. Holz selbst gehört zu den billigsten Bootsbaumaterialien, aber hohe Verarbeitungs- und Unterhaltskosten haben den Preis traditioneller Holzboote in die Höhe schnellen lassen, so daß sie nicht mehr wettbewerbsfähig sind.

Bild 7.1 – WEST SYSTEM Produkte.

Holz/Epoxid-Bauverfahren verlangen weniger Arbeitszeit und auch eine geringere Ausrüstung als frühere Beplankungsverfahren. Epoxid härtet bei Raumtemperatur und mit wenig Anpreßdruck aus, daher braucht man wenige Spezialwerkzeuge und Formen. Auf diese Weise können die Zusatzkosten erheblich reduziert werden, und die Herstellung von Einzelteilen wird sehr erleichtert.

Unser Erfahrungsschatz über Holz/Epoxidkomposite wächst von Tag zu Tag mit unseren Testergebnissen. Die technischen Daten unserer Materialien werden in den WEST SYSTEM Technischen Handbüchern und in unserem Rundbrief „The Boatbuilder“ (Der Bootsbauer) veröffentlicht. Unsere technischen Mitarbeiter stehen immer für die Beantwortung von Fragen und Lösung von Problemen zur Verfügung.

Ermüdungsverhalten von WEST SYSTEM Epoxid

Seit vielen Jahren übertragen wir mit Hilfe von WEST SYSTEM Epoxid Belastungen von Holz (niedrige Dichte) auf Metall (hohe Dichte). Unsere Verfahren, kleine und große Befestigungselemente, Beschläge und Kiele zu befestigen, werden ausführlich in Kapitel 26 erklärt. In den meisten Fällen überträgt man die Belastungen durch Harz, das durch Füllstoffe angedickt wurde. Diese Idee hat sich als sehr erfolgreich erwiesen und wird im Bootsbau nun im großen Maße angewendet.

Bei der Entwicklung von Flügeln für Windturbinen haben wir sehr schnell herausgefunden, daß die Harzverbindung zwischen den Zapfen, die die Kraft übertragen, und den Holzfasern das kritische Bauelement für den gesamten Flügel darstellte. Ein Versagen des Flügelblattes bedeutet üblicherweise, daß die gesamte Anlage zum Stillstand kommt. Um die Belastungsmöglichkeiten des Flügelblattes und sein Langzeitverhalten kennenzulernen, mußten wir mehr über die Dauerfestigkeit von WEST SYSTEM Epoxid herausfinden. Bis dahin gab es sehr wenige Versuchsergebnisse über Ermüdungsverhalten von Harz, und Dauerfestigkeit der Harze innerhalb von Kompositbauteilen war üblich erweise mit einem großen Fragezeichen versehen. Wenn Kompositmaterialien durch interlaminaren Schub versagen, ist es niemals ganz klar, ob dieser Bruch aus dem Verbund zwischen Harz und Faser resultiert, oder ob er dem Harz alleine anzulasten ist.

Um die Dauerfestigkeit von WEST SYSTEM Epoxid zu prüfen, wurden sehr verschiedene Methoden angewandt, je nachdem, welche Materialkennwerte für eine spezielle Belastung innerhalb der Turbinenflügel benötigt wurden. Obwohl es schwierig ist, aus einzelnen Testergebnissen generelle Schlüsse zu ziehen, ist doch deutlich, daß WEST SYSTEM Epoxid ein gutes Langzeit-Ermüdungsverhalten aufweist und daß selbst nach 10 Mio. Lastwechseln das Harz noch einen erheblichen Teil seiner ursprünglichen Bruchfestigkeit gegenüber einmaliger Belastung hat. (Weitere Einzelheiten siehe Anhang B)

WEST SYSTEM Epoxid

Damit WEST SYSTEM Harz wirkungsvoll als Dampfsperre verwendet werden kann, sollten wenigstens zwei Schichten auf die Innen- und Außenflächen aufgetragen werden. Bereiche, die noch geschliffen werden müssen, sollten mindestens drei Schichten erhalten, so daß nach dem Schleifen und Polieren wenigstens zwei Anstriche übrigbleiben. Wir empfehlen, zwei zusätzliche Anstriche immer dann anzubringen, wenn das Boot das ganze Jahr über im Wasser bleiben soll. Alle Harze werden durch direktes Sonnenlicht geschädigt. Aus diesem Grund müssen harzbeschichtete Oberflächen mit Lacken oder UV-beständigen Klarlacken gestrichen werden, es sei denn, daß man den Harz-Zwischenanstrichen WEST SYSTEM 420 Aluminiumpulver oder 501 Weißes Pigment beimischt.

WEST SYSTEM 105 Harz

Um das eigentliche WEST SYSTEM Epoxid herzustellen, wird 105 Harz mit 205 oder 206 Härter vermischt. Das Harz ist eine transparente, bernsteinfarbene Flüssigkeit niedriger Viskosität, die speziell für das Tränken von Holzfasern formuliert ist. Die ausgezeichneten Beschichtungseigenschaften des 105 Harzes gestatten es, bei Rollen- oder Pinsel auf trag einen gleichmäßigen Film auf einem entsprechend vorbereiteten Untergrund zu erzeugen. Die Mischung aus 105 Harz und 205 Schnellem Härter härtet in einem weiten Temperaturbereich aus. Wird das Harz unter kalten Witterungsbedingungen verarbeitet, sollte man den besonderen Verarbeitungs hinweisen, die später in diesem Kapitel genannt werden, folgen. WEST SYSTEM Harz ist als nicht leicht entflammbar eingestuft und hat nur einen mäßigen Eigengeruch.

WEST SYSTEM 205 Schneller Härter

Unser schneller Härter Type 205 ist einer der beiden Härtertypen, die für die Mischung mit 105 Harz entwickelt wurden. Er ist niedrig viskos. Bei einem Mischungsverhältnis von 5 Teilen Harz zu

1 Teil Härter wird das ausgehärtete Epoxid zu einer starren, festen Masse mit hoher mechanischer Festigkeit. Das Epoxid stellt eine hoch wirksame Dampfsperre dar. Die Topfzeit für 100 g Mischung 105 Harz/205 Schneller Härter bei 21°C beträgt 10 bis 15 Minuten. Mit diesem Härter wird eine Teilhärtung wiederum bei 21°C in 5 bis 7 Stunden erreicht. Wegen der besonders brillianten Oberfläche und der schnelleren Aushärtungszeit zieht man den 205 Härter bei Naturlackierungen vor.

WEST SYSTEM 206 Langsamer Härter

Bei dem Langsamen Härter WEST SYSTEM 206 handelt es sich um eine niedrig viskose Mischung aus Polyaminen. In Verbindung mit 105 Harz im Verhältnis 5:1 entsteht ein fester, starrer, feuchtigkeitsabweisender Kunststoff. Die Mischung 105 Harz/206 Langsamer Härter hat eine Topfzeit von 25 bis 30 Minuten bei 21°C. Die längere „offene Zeit“ ist besonders bei warmem Wetter, sowie für das Verbinden, Beschichten und für Reparaturen ideal. Eine Teilaushärtung bei 21°C wird innerhalb 9 Stunden erreicht.

WEST SYSTEM Zuschlagstoffe

Zuschlagstoffe sind entwickelt worden, um WEST SYSTEM Harz/Härter Mischungen für verschiedene Anwendungsbereiche wie Verleimen, Spachteln und Oberflächenbeschichtungen zu modifizieren. Bevor irgendwelche Zuschlagstoffe oder Füller dem Harz beigegeben werden, müssen Harz und Härter sehr gut durchmischt sein. Füllstoffe sollen langsam, kontinuierlich beigemischt werden, bis die gewünschte Konsistenz erreicht ist. Man sollte das Einatmen von Füllstoffen möglichst vermeiden.

Bild 7.2 – Hilfsmittel für das Arbeiten mit WEST SYSTEM Produkten.

WEST SYSTEM Zuschlagstoffe haben eine Auswirkung auf die Viskosität des Epoxidharzes. Eine Kombination aus Epoxid mit Füllstoffen verläuft langsamer als reines Epoxidharz und neigt auch nicht zur Tränenbildung. Die gen aue Menge der Füll- oder Zuschlagstoffe hängt vom Anwendungsbereich ab. Wir empfehlen, mit Mischungen zu experimentieren, bis man das richtige Verhältnis für jede einzelne Anwendung gefunden hat. Ungefähre Mischungsverhältnisse z.B. für sehr dicke, „stehende“ Mischungen und für weniger dicke, langsam verlaufende, „honigartige“ Kombinationen liegen den Packungen des Materials bei. Dieses sind zwei extreme Fälle. In der Praxis wird der Anteil der Füllstoffe irgendwo dazwischen liegen, um die gewünschte Viskosität zu erhalten. Wir verbessern laufend unsere Zuschlagstoffe. Die Produkte, die wir im folgenden auflisten, können sich ändern, wenn wir für bestimmte Anwendungszwecke geeignetere Materialien finden. In diesem Buch beziehen wir uns auf Füllstoffe hoher und niedriger Dichte und auf Füllstoffmischungen. Alle eventuell neu auf den Markt kommenden Füllstoffe können gegenüber den hier aufgelisteten ausgetauscht werden.

WEST SYSTEM 403 Microfiber (Kurzfasern)

Unsere 403 Kurzfasern bestehen aus feinen Baumwollfaserabschnitten, die dem Harz bei Verwendung als Kleber und Füller beigegeben werden. Dadurch erreicht man eine sehr gute fugenfüllende Wirkung, ohne die Benetzungs- und Eindringeigenschaften des Harzes zu verschlechtern. Mikrofasern stellen einen hundertprozentigen Verbund bei Klebeverbindungen sicher, ohne daß es zu einer Harzanreicherung kommt. Wenn die Bauteile gut aufeinander passen, reichen fünf bis fünfzehn Volumenprozent bezogen auf die Harzmenge aus. Um Lücken zu füllen oder Spachtelkehlen herzustellen, werden die Kurzfasern solange beigegeben, bis eine spachtelförmige Konsistenz erreicht ist. Je nach erwünschter Konsistenz werden 100 g Kurzfasern mit 600 bzw. 800 g Epoxidharzgemisch versetzt.

WEST SYSTEM 404 Hochdichter/Hochfester Füllstoff

Dieser Füllstoff wurde besonders für die Unterfütterung und Verbindung von Beschlägen entwikkelt, wo hohe Wechselbelastungen erwartet werden. 404 Füllstoff kann aber auch zum Auffüllen von Spachtelfugen und -kehlen für hohe Lastaufnahme verwendet werden. Er wird dem gemischten Harz in einem Anteil bis zu 40 Gewichtsprozenten

beigegeben, wiederum abhängig von der gewünschten Viskosität. Eine Beimengung von 20 bis 30 Gewichtsprozenten reicht üblicherweise für die meisten Anwendungsgebiete aus.

WEST SYSTEM 405 Spachtelmischung

Die 405 Spachtelmischung ist eine Vermengung von Zellulosefasern mit anderen Füllstoffen. Da die Mischung einen leicht bräunlichen Farbton hat, der dem Holz sehr ähnelt, eignet sich der 405 Füller besonders gut für Spachtelkehlen bei naturlackierten Innenbereichen. 100 g Füllermischung reichen zum Andicken von etwa 2 kg Harz/Härter-Gemisch aus, um eine feste Konsistenz zu erzielen.

WEST SYSTEM 406 Colloidal Sillea (Quarzmehl)

Quarzmehl 406 ist ein besonders feinkörniger Zuschlagstoff, der im Harz zur Erhöhung der Zähflüssigkeit beigegeben wird, um ein Abtropfen von senkrechten und Überkopfflächen zu verhindern. Die Beimengung von kleinen Mengen Quarzmehl reicht aus, um eine Tränenbildung zu vermeiden. Wird es dem Endanstrich beigegeben, entsteht eine erdnußbutterartige Konsistenz, die beim Auftragen nicht „zieht". Quarzmehl wird auch zum Andicken von Klebeharz und für Spachtelkehlen benutzt. Je nach der gewünschten Konsistenz sollten 100 g Quarzmehl einem Harz/Härter-Gemisch zwischen 1,9 kg und 5 kg beigegeben werden.

WEST SYSTEM 407 Mieroballoons

Bei den 407 Mikrokügelchen handelt es sich um winzig kleine, hohle, braune Phenolharzkugeln. Sie lassen sich sehr gut mit dem Harz mischen, sind leicht zu schleifen und ergeben dunkle Spachtelmassen für alle Anwendungsbereiche. Gut zu verwenden sind sie außerdem als Additiv zum Epoxidharz, wenn man leichte Furniere miteinander verkleben will. Ausgehärtete Mischungen aus Harz und 407 Mikrokugeln ergeben ein Material mit einem guten Verhältniswert Festigkeit/Gewicht. Je nach erwünschter Konsistenz kann man den Beutelinhalt von 255 g einer Harz/Härter-Menge zwischen 600 g und 1 kg beigeben.

WEST SYSTEM 409 Mierospheres (Mikrokugeln)

WEST SYSTEM 409 Mikrokugeln sind hohle, weiße, anorganische Kugeln, die in gleicher Art wie die 407 Mikrokügelchen benutzt werden können. Spachtelmassen mit Mikrokugeln sind leichter und haben etwas weniger Lastaufnahmevermögen als die vom Typ 407. Mikrokugeln 409 „ziehen" etwas mehr als die Microballoons und sind etwas schwieriger zu mischen und auch zu schleifen. Sie haften an der Flankenkante nicht ganz so gut wie die Microballoons, aber sie sind sehr viel billiger, und bei großflächigen Arbeiten daher vorzuziehen. Kleine Beimengungen von 406 Quarzmehl verringern die Neigung zum „Ziehen". Das empfohlene Mischungsverhältnis ist 100 g Mikrokugeln für 500 g bis 750 g Harz/Härter-Mischung.

WEST SYSTEM 420 Aluminiumpulver

Dies wird in Mengen bis zu 10 Volumenprozenten dem Harz beigegeben und schützt die Oberfläche wenigstens sechs Monate lang gegen ultraviolette Bestrahlung. Das Aluminiumpulver wird dort verwendet, wo die Flächen ihre Endlackierung nicht gleich nach dem Beschichten erhalten. Abgesehen davon kann man es überall dort benutzen, wo man Oberflächenfehler sichtbar machen möchte, bevor man die Oberfläche endgültig schleift und lackiert. Da die Aluminiumpulverbeimengung die Oberflächenhärte vergrößert und damit den Abrieb verringert, läßt sich diese Mischung schwerer schleifen, als wenn dem Harz ausschließlich Pigmente beigegeben wurden.

WEST SYSTEM 421 Feuerhemmender Füllstoff

Hierbei handelt es sich um Aluminiumhydroxidpulver, das im Gewichtsverhältnis 1:1 der Harzmischung beigegeben wird. Wir empfehlen seine Verwendung in Maschinenräumen und im Bereich der Pantry, wo die Möglichkeit eines Brandes nicht auszuschließem ist. Eine 421 Harzbeschichtung erhöht gegenüber dem reinen Epoxidharz die Feuerbeständigkeit und wirkt selbstverlöschend. Bei einem starken Brand allerdings muß auch diese Mischung als brennbar eingestuft werden.

WEST SYSTEM 423 Graphitpulver

Das 423 Graphitpulver ist ein feines schwarzes Pulver, das dem WEST SYSTEM Harz beigemischt werden kann, um eine sehr dauerhafte Oberfläche zu erzeugen. Graphit/Harz-Oberflächen haben nicht die bewuchshemmenden Eigenschaften der üblichen Anti-Fouling-Anstriche, aber sie werden oftmals benutzt, um eine glatte, reibungsmindernde Oberfläche auf Rudern, Schwertern und dem Unterwasserschiff von Segelbooten herzustellen, die üblicherweise auf dem

Trocknen gelagert werden. Graphit/Epoxid-Spachtelmasse liefert ein Erscheinungsbild wie beim traditionellen Teakdeckverlegen und dient gleichzeitig dazu, das Harz vor Sonnenlicht zu schützen. Das Graphitpulver wird dem Harz in Mengen von 10 bis 30 Volumenprozent beigemischt.

WEST SYSTEM GLASGEWEBE UND VERSTÄRKUNGSFASERN

WEST SYSTEM 740-744 Glasgewebe

Bootsbauer benutzen Glasseidengewebe zusammen mit WEST SYSTEM Harz, um lamellierte und leistengeplankte Rümpfe zu verstärken, um Klammerlöcher zu verdecken und solche Bereiche besonders zu schützen, die einem hohen Abrieb ausgesetzt sind. Unsere Gewebe sind mit Silan-Finish hergestellt und nicht mit Volan-Finish, wie es für Polyesterharze üblich ist. Das gestattet eine gute Tränkung mit WEST SYSTEM Harz und verbessert ganz bedeutend den Verbund zwischen Harz und Glas. WEST SYSTEM Glasgewebe wird nach dem Tränken transparent, Flächengewicht des Glasgewebes zwischen 135 g/m^2 und 200 g/m^2 erlauben es also, den Rumpf naturzulackieren. WEST SYSTEM Glasgewebe wird in verschiedenen Breiten und Flächengewichten angeboten. Nähere Einzelheiten sind dem Katalog zu entnehmen.

WEST SYSTEM 729-733 Glasgewebestreifen

Die schmalen Glasgewebestreifen lassen sich sehr leicht zur besseren Kraftüberleitung an winklig aufeinanderstoßenden Bauteilen und Rumpf/Decks-Verbindungen verwenden. Dieser Gewebestreifen liefert zusätzliche Zugfestigkeit, beugt damit dem Entstehen von Haarrissen vor und verbessert die Abriebfestigkeit. WEST SYSTEM Glasgewebestreifen sind in Breiten von ca. 75, 100 und 150 mm Breite erhältlich und einem Flächengewicht von ca. 340 g/m^2.

WEST SYSTEM 701 Graphitfasern

Unidirektionale, endlose Graphitfasern besitzen ein Zugmodul von 240.000 N/mm^2. Sie haben eine niedrige Dichte, sind aber steifer als Stahl und Aluminium und auch als die meisten anderen Baumaterialien, wenn man diesen Wert auf das Gewicht umrechnet. Epoxid/Graphit-Komposite sind ein Mehrfaches steifer als GFK-Bauteile, aber nur unwesentlich schwerer. Richtig angewandte Graphitfasern können einem Bauteiil, daß an der Grenze seiner Belastungsfähigkeit liegt, die notwendige mechanische Festigkeit verleihen. Graphitfasern sind auch dort sinnvoll anzuwenden, wo eine erhöhte Steifigkeit gefordert ist, aber die Abmessungen sich wegen der Begrenzung des Raumes nicht erhöhen lassen. WEST SYSTEM 701 Graphitfasern sind zum Versteifen von Masten, Schwertern, Rudern und Paddeln benutzt worden. Sie werden in 25 mm breiten Streifen geliefert, mit einer Dicke von ca. 0,25 mm.

WEST SYSTEM Pigmente

WEST SYSTEM Pigmente sind schwere, auf Epoxidbasis gelöste Pasten, die zum Einfärben von Harz/Härter-Gemischen benutzt werden. Eingefärbte Epoxidbeschichtungen dienen als Untergrund für die Endlackierung und, da sie außerdem Unreinheiten und Fehler in der Oberfläche sichtbar machen, benutzt man sie als Markierungsmittel zum Glätten und Schleifen. Pigmente können die Tränkfähigkeit des Harzes beeinflussen, sie sollten daher nur dem zweiten oder dritten Anstrich beigegeben werden. Sie sind nicht als Endanstrich anzusehen, sondern müssen mit einem zusätzlichen Lackauftrag versehen werden.

Da es sich um sehr feste Pasten handelt, kann das Untermischen in Epoxidharz gewisse Schwierigkeiten bereiten. Solange man das Harz/Härter-Gemisch von 5 Teilen Harz zu 1 Teil Härter einhält, kann man die Pigmente zunächst mit einer kleinen Menge Harz anlösen, bevor sie der endgültigen Mischung beigegeben werden. Sowohl die 501 wie 503 Pigmente werden etwa im Verhältnis 1 Teelöffel Pigment zu 225 g Harz/Härter-Mischung eingemischt. Ein größerer Pigment anteil erhöht die Farbkraft, jedoch wird das Harz gleichzeitig höher viskos.

WEST SYSTEM 501 Weißes Pigment

Dieses Weiße Pigment kann dem Epoxidharz beigegeben werden, um einen Zwischenanstrich für die Lackierung der Innenflächen zu erreichen. Es bietet einen guten zeitlichen Schutz gegen UV-Strahlung, wenn die eigentliche Endlackierung erst später erfolgen soll.

WEST SYSTEM 503 Graues Pigment

Unser 503 Graues Pigment hat die gleichen Eigenschaften wie die Type 501, ist dabei in der Farbe dunkler und eignet sich daher besser als Untergrund für dunkle Anstriche. Es ist leichter zu schleifen als 420 Aluminiumpulver aber weniger wirksam als UV-Schutzschicht.

WEST SYSTEM MITTEL ZUR OBERFLÄCHENVORBEREITUNG

WEST SYSTEM 860 Aluminium-Ätzmittel

Dieses Ätzmittel besteht aus zwei chemischen Reagenzen, mit denen die Oberfläche von Aluminium für Verbindungen und Beschichtungen vorbereitet wird. Die Behandlung verbessert die Haftfähigkeit von Epoxid und Fasern auf Aluminium. Verarbeitungshinweise werden auf den Etiketten der Flaschen gegeben.

WEST SYSTEM Dosierpumpen

Wir bieten drei Typen von Dosierpumpen an. Alle spenden Harz und Härter in den richtigen Mengen und verhindern damit unnötigen Abfall. Die folgende Auflistung soll Ihnen die Wahl je nach der benötigten Harzmenge für Ihren Anwendungszweck geben.

WEST SYSTEM 301 Mini-Dosierpumpe

Die aus Polypropylen hergestellten Minipumpen sind vorzugsweise für kleine Mengen gedacht. Sie sind in drei Größen erhältlich und lassen sich direkt an die Harz-und Härterbehälter anschrauben. Ein Hub der Harzpumpe fördert fünf Einheiten Harz und ein Hub der Härterpumpe fördert eine Einheit Härter. Diese Minipumpen sind billig und können in den Harz- und Härterbehältern über längere Zeit belassen werden.

WEST SYSTEM 306 Spenderpumpe Typ A

Diese aus Metall gefertigte Pumpe ist für das Abfüllen größerer Mengen von Harz und Härter geeignet und ist recht nützlich bei allen Objekten, die größer sind als eine Jolle. Feste Kunststoffgebinde enthalten Harz und Härter. Ein Hub fördert Harz und Härter gleichzeitig im richtigen Mischungsverhältnis (ca. 15 g pro Hub). Wir bieten Reinigungssets und Austauschteile für diese Pumpe an.

WEST SYSTEM 309 Zahnradpumpe

Wir haben diese Pumpe für unseren Eigenbedarf entwickelt und gebaut. Sie liefert etwa 30 g Harz•und Härtermischung bei jeder Umdrehung der Welle und kann auf diese Weise etwas mehr als ein Liter Gemisch pro Minute anmischen. Der präzise Schließmechanismus verhindert das Abtropfen von Harz und verringert damit Materialverlust. Die metallenen Vorratsbehälter fassen etwa 7,5 1 Harz bzw. 3,71 Härter.

Bild 7.3 -Dosierpumpen: Links die Zahnradpumpe 309, rechts die Dosierpumpe 306 A.

Hinweise für Mischen und allgemeine Handhabung

Die Mischung von WEST SYSTEM Epoxid beginnt mit einer exakten Dosierung. 105 Harz mit 205 oder 206 Härter wird im Verhältnis 5 Teile Harz zu 1 Teil Härter gemischt. Die einfachste Methode, ein exaktes Mischungsverhältnis einzuhalten, besteht in der Verwendung der WEST SYSTEM Dosierpumpen. Epoxid kann jedoch auch nach Volumen oder Gewicht dosiert werden. Bei all diesen Arbeiten sollte man unbedingt die Haut vor einem direkten Kontakt mit dem Material schützen.

Es gibt einige Tricks, um die Aushärtung des Epoxidharz zu beschleunigen, aber zusätzlicher Härter ist auf jeden Fall nicht der richtige Weg. Eine größere Härtermenge macht das ausgehärtete Epoxidharz nicht härter. Im Laufe der Jahre haben viele Bootsbauer versucht, die Harz/Härterverhältniswerte zu modifizieren und mußten feststellen, daß dieses eine Sackgasse war. Wir arbeiten mit dem Verhältnis 5:1 für alle Anwendungsbereiche. Wenn es zu nichts anderem nütze wäre, so verringert es immerhin unnötigen Abfall und garantiert, daß Harz-und Härterbehälter gleichzeitig leer sind.

Wenn die Materialmengen ausgewogen werden, darf man nicht vergessen, das Gewicht des Gefäßes zu berücksichtigen. Die Waage muß natürlich geeicht sein. Es empfiehlt sich, nicht mehr als 500 g Epoxid in einem Arbeitsgang anzurühren, es sei denn, daß man mehrere Helfer hat. Es ist sicher sinnvoll, die beiden Komponenten einzeln zu wiegen, bevor man sie in den Mischbecher schüttet.

Eine Mischung nach dem Volumen ist weniger präzise, da die Dichte von Harz und Härter unter-

schiedlich ist, aber es ist eine schnelle und einfache Methode. Man kann sich hierfür einen Meßstab anfertigen mit sechs Teilstrichen, der in das Anrührgefäß gesteckt wird. Man braucht nun nur bis zum fünften Markierungsstrich mit Harz und dann bis zum sechsten mit Härter aufzufüllen. Einige Bootsbauer haben sich auch Grafiken angefertigt, aus denen sie für jede gewünschte Menge die Teilmengen Harz und Härter ablesen können.

Um Verunreinigungen zu vermeiden, sollten Harz und Härter in sauberen, tiefen Gefäßen angemischt werden. Wachsfreie Pappe, Kunststoff und Metallgefäße einschließlich Plastikbecher tun ihren Dienst. Dickwandige Polystyrolbecher isolieren die beim Aushärten entstehende Hitze und können dadurch sogar Feuer fangen. Sie sollten nur bei kalter Witterung benutzt werden. Wir benutzen gerne WEST SYSTEM Polystyrol-Mischbecher, da man das ausgehärtete Harz aus ihnen leicht entfernen kann. Es ist schwierig, Epoxid und Füllstoffe in Gefäßen anzumischen, die entweder zu klein, zu flach oder eckig sind. Für das Anrühren von Spachtelmassen sollte man größere Gefäße als normal benutzen und sollte außerdem die verschiedenen Komponenten in einem Becher anrühren, bevor sie dann in das Ausrollgefäß geschüttet werden.

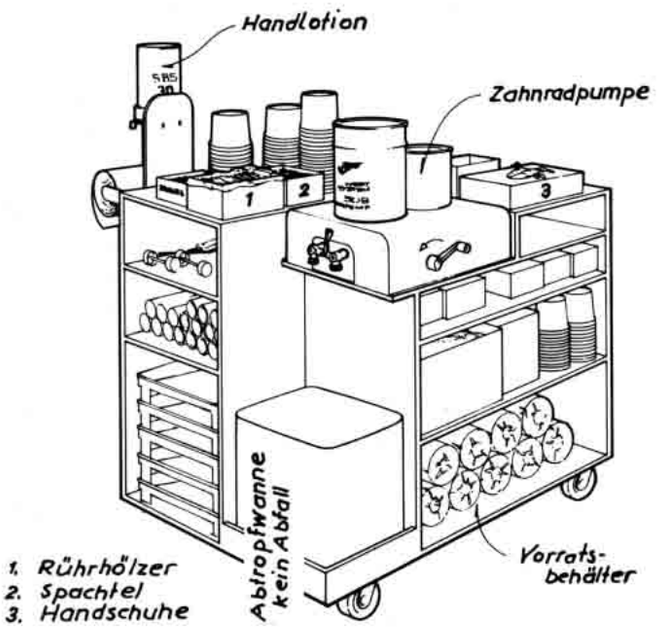


Bild 7.4 – Für gewerbliche Anwendung und auch für Selbstbauer, die eine größere Yacht planen, zahlt sich der Bau eines fahrbaren Vorrats- und Mischtisches aus. Damit sind alle WEST SYSTEM Produkte und Hilfsmittel auf engem Raum konzentriert und damit ohne Zeitverlust schnell und sinnvoll erreichbar.

Das wichtigste Teil auf diesem Tisch ist natürlich die Dosierpumpe. Dann folgen die Füllstoffe und Additive zum Herstellen der verschiedenen Mischungen. Diese lassen sich gut in Einschubkästen seitlich unterbringen. Man kann so nach dem Zapfen des Harzes den entsprechenden Füller für jeden Verwendungszweck dazumischen. Alle Misch- und Auftragungs-Werkzeuge, wie Becher, Rührstöckchen, Pinsel, Rollen, Spachtel und Messer werden an der günstigsten Stelle am Tisch plaziert. Hilfsmittel, wie Seife, Gummihandschuhe, Papiertücher, Reinigungsmittel u.s.w. werden ebenso untergebracht. Die Zeichnung gibt eine Vorstellung davon, wie diese Teile gestaut sein können. Da aber die Bedürfnisse unterschiedlich sind, sollte jeder seine eigene Lösung finden.

Nach dem exakten Abmessen der Harz- und Härtermenge müssen sie sehr eingehend vermischt werden. Es ist nicht notwendig, besonders stark zu rühren, aber wenigstens dreißig Sekunden lang, wobei man gelegentlich die Seiten des Gefäßes abstreicht. Ungenügende Mischung hat zur Folge, daß das Harz ungleichmäßig aushärtet. Wir benutzen 15 cm lange, flache Holzspatel als Rührstöckchen. Wenn das Epoxidgemisch innig verrührt ist, können die Zuschlagstoffe hinzugegeben und ebenfalls gut untergemischt werden.

Sobald Harz und Härter miteinander vermischt sind, beginnt die exotherme Reaktion. Moleküle geraten in Bewegung und bilden Polymere, quervernetzte Ketten, und geben dabei Energie in Form von Wärme frei. Die Epoxid-Harzmischung verändert ihr Aussehen nicht und ist leicht zu verarbeiten, solange die Topfzeit anhält. Dann, wenn sich die Reaktion beschleunigt, geliert das Harz, wird dickflüssiger und verändert seine Konsistenz von flüssig in fest. Das Gefäß fühlt sich warm an, während das Harz langsam dickflüssig wird. Wenn die meisten Moleküle zu Polymeren vernetzt sind, hat das Harz eine Teilhärtung erreicht und ist verhältnismäßig klebfrei. Obwohl die Reaktion noch etwa zwei Wochen lang anhält, kann eine Epoxid-beschichtete Oberfläche innerhalb von 24 Stunden weiterbearbeitet und geschliffen werden. Die beste Aushärtung wird innerhalb dieses Zeitraumes erreicht.

Manchmal möchte man nun Harz mit längerer oder kürzerer Topfzeit haben. Die einfachste Art, die Gelierzeit zu bestimmen, besteht darin, daß man zwischen WEST SYSTEM 205 Schnellem Härter und 206 Langsamem Härter wählt, die ja dafür entwickelt wurden, eine unterschiedliche offene Zeit sicherzustellen. 100 g 105 Harz mit 205 Schnellem Härter vermischt, wird bei 21°C etwa in 10 bis 15 Minuten mit dem Gelieren beginnen, während 105/206 Epoxid etwa eine doppelt so lange offene Zeit aufweist. Wenn die übrigen Bedingungen gleich sind, empfiehlt es sich, den langsamen Härter immer dann zu benutzen, wenn man eine längere Arbeitszeit benötigt, wie z.B. bei großflächigen Beschichtungen.

Wenn Materialien und Pumpen zur Hand sind, kann man die Härtertypen 205 und 206 auch in Verbindung miteinander verwenden, um die gewünschten Zeitvorteile zu erreichen. Diese Härter lassen sich mischen, solange das Verhältnis 5 Teile Harz zu 1 Teil Härter beibehalten wird. Mit etwas Probieren kann man also die Topfzeit des Harzes gegenüber der Mischung mit reinem 205 Schnellem Härter verzögern.

Bootsbauer haben uns manchmal berichtet, daß sie wohl die exakten Harz/Härtermengen benutzt haben, aber daß das Epoxidharz entweder zu schnell oder zu langsam aushärtete. Falls dies einmal auftritt, sollten zunächst die Pumpen geprüft werden. Wenn also unvorhersehbare Topfzeiten auftreten, die sich nicht durch die Umgebungstemperatur erklären lassen, müssen die Pumpen auf korrekte Dosierung und Förderung von Harz und Härter untersucht werden.

Arbeiten mit WEST SYSTEM Epoxid unter schwierigen Bedingungen

Die meisten Fragen, die uns zum WEST SYSTEM Epoxid gestellt werden, betreffen die Lagerung und Verarbeitung unter schwierigen Umgebungsbedingungen. Sehr warmes oder kaltes Wetter hat einen Einfluß auf die Aushärtungszeit des Harzes, und hohe Feuchtigkeit, sowohl durch nasses Holz oder hohe Luftfeuchtigkeit hat erfahrungsgemäß ebenfalls zu Schwierigkeiten geführt.

Die Empfindlichkeit des Epoxidharzes gegenüber Wärme wird deutlich, wenn man, nachdem man monatelang unter kalten Witterungsbedingungen gearbeitet hat, das erste Mal das Harz an einem heißen Tag anrührt und feststellt, daß es sehr viel schneller hart wird, als man erwartete. Bei warmer Umgebung ist die Reaktion schneller, die Topfzeit ist kürzer und die Härtung selbst geht ebenfalls schneller vonstatten als unter kalten Witterungsbedingungen. Wenn man dagegen gewohnt ist, Epoxidharz bei hohen Temperaturen zu verarbeiten und es wird plötzlich kälter, dann verlängert sich die Topfzeit und auch die Aushärtung nimmt mehr Zeit in Anspruch.

Die Temperatur des Arbeitsplatzes beeinflußt die Geschwindigkeit der Polymerisation. Da die Moleküle Energie benötigen, um zu reagieren, wird die „Initialzündung“ für die Reaktion durch die Temperatur von Harz und Härter hervorgerufen. Die durch die Reaktion entstehende Wärme beschleunigt die Quervernetzung der Moleküle, bis die aktivste Phase der Reaktion abgeschlossen ist. Wenn Harz und Härter kalt sind, beginnt auch die Reaktion sehr langsam und kann daher nicht genügend Wärme aufbauen, um das Harz innerhalb der normalen Zeit aushärten zu lassen. Andererseits beschleunigt die dem warmen Harz innewohnende Energie die chemische Reaktion. Wenn kaltes Epoxidharz auf kaltes Holz aufgetragen wird, oder wenn warmes Epoxidharz auf warmes Holz aufgebracht wird, verstärken sich diese Auswirkungen noch.

Die Geschwindigkeit der Aushärtung hängt aber auch davon ab, was mit der durch die exotherme Reaktion erzeugten Hitze geschieht. Das hängt wiederum von der Umgebungstemperatur ab, zugleich aber auch von der Menge der Reaktionsmasse im Verhältnis zur Oberfläche. Eine bestimmte Menge Harz und Härter, die man angerührt in einem kleinen Gefäß stehen läßt, wird bei warmem Wetter sehr schnell aushärten, da die im Harz enthaltene Energie nicht schnell genug in die Atmosphäre entweichen kann. Der Becher wirkt isolierend und beschleunigt daher die exotherme Reaktion. Die gleiche Harz/Härtermenge in der Ausrollschale wird sehr viel langsamer härten, da die Hitze durch die vergrößerte Oberfläche leicht abgegeben wird. Epoxid verliert weniger Wärme und härtet deshalb schneller aus, wenn es für eine Verklebung mit kleiner freier Oberfläche verwendet wird, als wenn man das Harz als dünnen Film auf einer großen Fläche aufträgt. Im allgemeinen wird die Topfzeit durch die Beigabe von Zuschlagstoffen verkürzt. Das zusätzliche Einrühren der Additive und die verhältnismäßig kleine Oberfläche des an gedickten Harzes zusammen erzeugen größere Hitze und behalten sie leichter bei.

Um bei warmen Witterungsbedingungen die besten Ergebnisse zu erzielen, sollte man WEST SYSTEM 206 Langsamen Härter wegen der längeren Topfzeit benutzen. Um zu frühes Aushärten zu verhindern, empfiehlt es sich, nur kleine Mengen anzurühren, um die Wärme zu verringern und die Mischung möglichst bald in die Ausrollschale umzugießen, um die Oberfläche zu vergrößern. Harz und Härter als einzelne, nicht vermischte Komponenten sollten kühl gelagert werden. Wenn man hierfür keinen Kühlschrank zur Verfügung hat, sollten sie wenigstems im Schatten stehen und nicht dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt sein.

Sehr kalte Umgebungstemperaturen führen zu größeren Schwierigkeiten. Die Viskosität des Harzes erhöht sich und das Fördern mit den Pumpen wird fast unmöglich, wenn die Temperaturen sehr niedrig liegen. Dickflüssiges Epoxidharz läßt sich schwer handhaben, und es dringt auch in das Holz nur ungenügend ein. Während einer sehr langen

Aushärtungszeit können die Oberflächen außerdem verunreinigt werden, insbesondere durch die Aufnahme von Wasserdampf oder Kohlendioxyd und damit einen leicht wolkigen Charakter annehmen. Eine kalte Holzoberfläche und unterkühltes Harz können diese Schwierigkeiten noch verstärken.

Es gibt verschiedene Gegenmaßnahmen. Zunächst einmal sollte man den 205 Schnellen Härter benutzen und Harz und Härter in warmer Umgebung lagern. Für das Anmischen empfiehlt sich ein runder Behälter, außerdem sollte man die Mischung länger als üblich rühren, sie einige Minuten stehenlassen, damit sich eine höhere Temperatur aufbaut, bevor man das Epoxidgemisch nun in die Ausrollwanne einfüllt. Außerdem kann man die zu bearbeitenden Flächen durch zusätzliche Wärmequellen erhitzen.

Wer im Besitz einer Wärmepistole ist, kann diese gut anwenden, sowohl um das Epoxid, wie auch um das Holz selbst vorzuwärmen. Es hat keinen Zweck, das Material auf eine höhere Temperatur als ca. 38°C zu bringen, da höhere Temperaturen Teile des Epoxidharzes zum Verdampfen bringen. Aus diesem Grund benutzen wir Wärmepistolen mit 400°C und nicht die angebotenen Modelle mit höheren Temperatueren. Man sollte versuchen, während dieses Anwärmens keine Luft in das Harz einzublasen, sondern es gleichmäßig und nur leicht mit entsprechend guter Lüftung zu erwärmen. Wenn die Mischung Blasen wirft, hat man sie wahrscheinlich zum Kochen gebracht und sollte sie nicht mehr verwenden. Zu beachten ist, daß Heißluftpistolen brennbares Material entflammen können, also ist hier besondere Vorsicht geboten.

Wärmelampen und auch ganz normale Glühbirnen kann man für die lokale Temperaturerhöhung z.B. bei Klebeverbindungen während des Aushärtevorganges benutzen. Außerdem eignen sie sich, um die Harz- und Härterbehälter vorzuwärmen. Wenn wir z.B. kleine Einzelteile schnell aushärten wollen, legen wir sie in eine Wärmekammer, die durch eine Glühlampe erhitzt wird. Beschichtete Isoliermatten sind ein gutes und billiges Mittel, um kleine abgeschlossene Räume zu schaffen, in denen man Einzelteile und Verbindungen zusätzlich erwärmen kann. Lampen beinhalten ein erheblich geringeres Feuerrisiko als Warmluftpistolen, aber auch sie sollten mit Vorsicht benutzt werden.

Wenn WEST SYSTEM Materialien eingefroren sind, können beim Auftauen im Harz Kristalle erscheinen. Falls dies einmal auftritt, empfehlen wir, einen großen Topf Wasser zu erhitzen, ihn von der Wärmequelle herunterzunehmen und den Harzbehälter in diesem Wasserbad aufzutauen und zu erwärmen. Dabei muß der Deckel des Harzbehälters zur Vermeidung einer Explosion abgenommen werden. Das aufgewärmte Epoxid muß nun sehr langsam und vorsichtig mit einem sauberen Stock umgerührt werden, bis die Flüssigkeit wieder klar ist und alle Kristalle am Boden des Behälters aufgelöst sind. Um auch die am Deckel abgesetzten Kristalle noch aufzulösen, muß nun der Deckel wieder befestigt und der Behälter einige Zeit geschüttelt werden. Falls sich kristallisiertes Harz in der Förderpumpe abgesetzt haben sollte, muß man warmes Harz nachgießen, um auch hier die Kristalle zu entfernen.

Wir empfehlen, WEST SYSTEM Harz nur zusammen mit Holz zu verarbeiten, dessen Feuchte zwischen 8% und 12% liegt. Wir wissen jedoch, daß es vorkommen kann, daß man auch nasseres Holz verarbeiten muß. WEST SYSTEM Epoxid kann mit Holz verarbeitet werden, daß bis zu 18% Feuchtigkeit enthält, obwohl das später zu eingebauten Spannungen führen kann. Bei feuchterem Holz besteht außerdem die Möglichkeit, daß überschüssige Feuchtigkeit mit dem 205 oder 206 Härter eine Verbindung eingeht, da beide wasserlöslich sind.

Früher ist es vorgekommen, daß Abschlußaufträge mit 206 Langsamem Härter gelegentlich in sehr feuchter Witterung leicht wolkig wurden. Für naturlackierte Rümpfe und andere Teile empfehlen wir daher üblicherweise den 205 Schnellen Härter. Das oben geschilderte Problem ist inzwischen allerdings größtenteils behoben, da wir die Formulierung noch verfeinert haben, aber die Erscheinung der Wolkenbildung auf der Oberfläche kann trotzdem noch auftreten, wenn die Beschichtung vorgenommen wird, solange bestimmte Gase oder andere Verunreinigungen in der umgebenden Luft nicht auszuschließen sind. Da der schnelle Härter eben früher durchhärtet und den Verunreinigungen nur über einen kürzeren Zeitraum ausgesetzt ist, empfehlen wir auch weiterhin für Oberflächen, die später naturlackiert werden sollen, diese Härtertype. Verbesserungen in der Formulierung haben bewirkt, daß der Härter kaum noch Oberflächenablagerungen zeigt und sehr unempfindlich gegen Feuchtigkeit und niedrige Temperaturen ist. Er hebt sich daher positiv sowohl von dem langsamen Härter wie auch von dem schnellen Härter ab, den wir vor 1985 verkauft haben.

Die Terminologie dieses Buches

Im gesamten Buch benutzen wir die Worte *Epoxid* und *Harz* in der gleichen Bedeutung, um nämlich

Epoxidharz zu beschreiben. Sofern nicht ausdrücklich ein anderer Hinweis gegeben wird, beziehen sich die Worte *Epoxidharz* und *Standardharz* auf WEST SYSTEM Epoxid, das in einem Verhältnis von 5 Teilen 105 Harz mit 1 Teil 205 oder 206 Härter ohne weitere Füllstoffe gemischt wird.

Im Gegensatz dazu bedeuten *Harzmischung, Epoxidmischung, angedickte Mischung* und *Klebemischung,* daß es sich um Kombinationen von gemischtem Epoxid und Füllstoffen handelt. Größtenteils haben wir die Füllstoffe, die für einen bestimmten Anwendungszweck gedacht sind, ausdrücklich benannt. Eine 406 Harzmischung enthält 406 Quarzmehl, während eine hochdichte Harzmischung und eine niedrigdichte Harzmischung entweder hochdichten oder niedrigdichten Füller enthalten.

Es war ausgesprochen schwierig, eine Terminologie zu finden , mit der sich die Dickflüssigkeit oder Viskosität dieser Mischungen beschreiben ließ. Unsere Wahl: *Erdnußbutter, Honig, Sahne und Sirup* mögen etwas unfachmännisch klingen. Sie haben aber den Vorteil , daß jedermann sie versteht.

Wenn Harz und Härter im richtigen Verhältnis gemischt sind, wird das Epoxid in weniger als dreißig Minuten zu gelieren oder zu härten beginnen. Zu diesem Zeitpunkt ist das Harz unausgehärtet. Einige Arbeiten, wie z.B. das Besäumen von Glasfaserkanten , werden am sinnvollsten dann durchgeführt, wenn das Epoxid teilgehärtet ist, d.h. 3 bis 8 Stunden nach dem Auftragen, abhängig von der Temperatur. Zu diesem Zeitpunkt ist das Epoxid nicht mehr flüssig oder gummiartig, aber auch noch nicht brüchig. Es ist wichtig, daß durch dieses Besäumen der Kanten keine Glasfasern vom Rumpf selbst abgetragen werden. Obwohl eine exotherme Restreaktion bis zu zwei Wochen weiterlaufen kann, betrachten wir Epoxidharz als voll ausgehärtet drei bis vier Tage nach dem Auftragen, je nach Umgebungstemperatur. In den meisten Fällen sind die Beschichtungen mit WEST SYSTEM Epoxid 12 bis 24 Stunden nach dem Auftragen ausreichend durchgehärtet, um auf ihnen weiterarbeiten zu können.

Kapitel 8

Die Sicherheit

Bootsbau sollte Ihre Gesundheit nicht gefährden. Wir sind zwar nicht der Meinung, daß an dieser Stelle alle Sicherheitsaspekte der Holzverarbeitung zur Sprache kommen müssen, aber wir möchten doch einige Regeln für die sichere Benutzung der WEST SYSTEM Produkte aufstellen.

Uns interessieren in diesem Zusammenhang die gesundheitlichen Auswirkungen von Epoxidharzen, Lösungsmitteln, Holz und Staub, sowie die Brandgefahr , die durch diese Produkte bei leichtfertiger Kombination auftreten kann. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf diese Punkte. Wir hoffen, daß Sie sich zusätzlich die Zeit nehmen, sich über die anderen Gefahrenpunkte einer Werkstatt zu informieren, einschließlich derjenigen, die durch die Benutzung von Maschinenwerkzeugen auftreten.

Wir empfehlen dringend, dieses Kapitel insgesamt sorgfältig zu lesen, aber wir wissen auch, daß Sicherheitsaspekte nicht gerade ein interessantes Thema sind. Die uns nötig erscheinenden Informationen haben wir daher in Kurzform an den Anfang gestellt und sie später im einzelnen ausgeführt.

Der Benutzer hat das Recht und auch die Verantwortung, nach gründlicher Information über die Materialien, mit denen er arbeitet, seine Entscheidungen zu treffen. Nur ein geringer Prozentsatz der Bevölkerung wird gegen die Wirkung von WEST SYSTEM Epoxid allergisch sein; die meisten Menschen werden damit keine Probleme haben. Wer gegen bestimmte Substanzen allergisch ist und wer empfindlich auf Harz, Härter, Lösungsmittel oder Holzstaub reagiert, sollte die später in diesem Kapitel noch ausführlich behandelten Benutzungshinweise einhalten.

WEST SYSTEM Epoxid

Epoxidharze und insbesondere Härter wurden lange für Hautreizungen verantwortlich gemacht. Bei der Wahl der einzelnen Komponenten für WEST SYSTEM Epoxid haben wir versucht, ein Gleichgewicht zwischen den notwendigen physikalischen Eigenschaften und der niedrigst möglichen toxischen Wirkung herzustellen.

Die Empfindlichkeit einer bestimmten Person gegen Epoxid hängt von drei Faktoren ab: dem Grad des Kontaktes mit dem Material, dem Stoffwechsel des Menschen und seiner gesundheitlichen Konstitution. Personen, die zu Hautallergien, Heuschnupfen oder Asthma neigen, reagieren auf das Harz empfindlicher als andere. Menschen mit heller Hautfarbe sind üblicherweise anfälliger als solche mit dunkler. Wer abgespannt ist, unter einer Virusinfektion, einer Erkältung oder einem rauhen Hals leidet, wird häufig empfindlicher gegenüber Reizungen reagieren.

WEST SYSTEM Harz für sich genommen, ruft selten Reizungen hervor. Die Härter 205 und 206 sind jedoch beides Hautreizstoffe. Ihre toxische Wirkung verringert sich erheblich, wenn sie im Verhältnis 5:1 mit dem 105 Harz gemischt werden. Trotzdem sollten entsprechende Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden. Wir empfehlen, folgende Regeln unbedingt einzuhalten:

(1) Halten Sie sich in guter körperlicher Verfassung durch regelmäßiges Essen, Schlafen und Körpertraining. Rauchen Sie bitte nicht. Wenn Sie müde sind oder eine Grippe haben, legen Sie sich ins Bett und lassen Sie die Arbeit warten, bis Sie sich besser fühlen. Wer sich körperlich fit hält, unterliegt in geringerem Maße der Gefahr eines Unfalls und auch einer Hautreizung.

(2) Vermeiden Sie jeden direkten Kontakt mit Harz, Härter und Epoxidmischung. Tragen Sie Plastikhandschuhe, wenn Sie mit WEST SYSTEM Materialien arbeiten. Eine Handcreme verleiht einen zusätzlichen Schutz, wenn Sie eine empfindliche Haut oder Allergien haben, oder wenn Sie eine Menge nicht so angenehmer Arbeit vor sich haben.

(3) Benutzen Sie niemals Lösungsmittel, um Epoxid von der Haut zu entfernen, es sei denn, daß es unbedingt notwendig ist. Wasserfreie Hautreiniger sind in den meisten Fällen ausreichend. Nach Hautkontakt mit Lösungsmitten sollte man sich möglichst bald mit Wasser und Seife waschen.

(4) Mit Epoxid bespritzte Kleidung sollte sofort gewechselt werden. Benutzen Sie ein Hautreinigungsmittel, um Harz vom Körper und von Kleidungsstücken zu entfernen.

(5) Benutzen Sie Epoxid nur, wenn ausreichende Lüftung sichergestellt ist. In eng begrenzten Räumen, wie z.B. im Innern eines Bootes, muß sowohl Be-wie Entlüftung vorhanden sein.
(6) Soll Epoxidharz geschliffen werden, sorgen Sie bitte für gute Lüftung und tragen Sie eine Staubmaske. Besondere Vorsicht ist geboten, wenn das Harz weniger als eine Woche gehärtet hat.
(7) Schützen Sie Ihre Augen gegen Kontakt mit WEST SYSTEM Harz, Härter und Epoxidgemisch durch das Tragen von Sicherheitsgläsern oder Schutzbrillen. Falls Spritzer ins Auge gelangen, sollte mindestens fünfzehn Minuten lang mit Wasser unter leichtem Druck gespült werden. Falls Beschwerden auftreten, muß ein Arzt aufgesucht werden.
(8) Tritt bei der Arbeit mit WEST SYSTEM Epoxid ein Hautausschlag auf, unterbrechen Sie die Arbeit, bis dieser Ausschlag nach drei bis vier Tagen wieder verschwindet. Wenn Sie die Arbeit dann wieder aufnehmen, verbessern Sie die Sicherheitsvorkehrungen und vermeiden Sie jeden Hautkontakt mit Härter, Harz, Epoxid und ihren Dämpfen. Wenn die Beschwerden anhalten, muß ein Arzt konsultiert werden.
(9) Gefäße mit angemischtem Epoxidharz müssen sorgfältig gehandhabt werden. Epoxidabfall sollte niemals in den Müll geworfen werden, bevor er nicht fest und abgekühlt ist.

Lösungsmittel

Fast alle Lösungsmittel sind giftig, wenn Sie geschluckt oder in entsprechender Menge inhaliert werden. Lösungsmittel können die Lunge, das Atemsystem, die Augen und die Haut reizen, und einige schädigen auch andere Organe, einschließlich des Herzens. Mehrere Lösungsmittel werden mit der Entstehung von Krebs in Zusammenhang gebracht.

Da Lösungsmittel das in der Haut enthaltene Fett herauslösen, wird die Haut bei direktem Kontakt zunächst einmal trocken. Dieser Austrocknungseffekt auf das Atemsystem bezogen, vermindert die Fähigkeit der Bronchien, sich selbst zu reinigen. Wenn Lösungsmittel in größeren Mengen eingeatmet werden, können sie das zentrale Nervensystem beeinflussen. Die Symptome reichen dann von Übelkeit und Reizungen bis zu einem Zustand, der einer Alkoholvergiftung ähneln kann. Dauerndes Einatmen besonders giftiger Lösungsmitteldämpfe kann zur Ohnmacht, bleibenden Gehirnschäden oder sogar zum Tod führen.

Die Entflammbarkeit von Lösungsmitteln ist einer der Gründe für Werkstattbrände. Nicht brennbare Lösungsmittel können bei sehr hohen Temperaturen Gase abspalten, oder sie zerfallen in Gase, insbesondere Phosgen und Chlorwasserstoff.

Aus diesen Gründen ist es notwendig, folgende Hinweise zu beachten, wenn Lösungsmittel verarbeitet oder benutzt werden:
(1) Wählen Sie immer das am wenigsten giftige und entflammbare Lösungsmittel, das für eine bestimmte Arbeit geeignet ist. Vermeiden Sie die Benutzung von Lösungsmitteln, wenn Sie gesundheitliche Probleme haben.
(2) In der Nähe von Lösungsmitteln oder dem Lagerplatz dieser Stoffe sollte weder geraucht noch mit einem Schneidbrenner gearbeitet werden. Lagern Sie Lösungsmittel in dicht verschlossenen, zugelassenen Behältern, an einem sicheren Platz und nicht in der Nähe von Rauchern und Heizgeräten, und halten Sie die Mittel so, daß Kinder sie nicht erreichen können.
(3) Vermeiden Sie jeden Hautkontakt mit Lösungsmitteln und inhalieren Sie diese nicht. Tragen Sie eine entsprechende Schutzausrüstung – Handschuhe, Schutzbrille und Schutzmaske –, wenn Sie mit den Mitteln arbeiten.
(4) Benutzen Sie Lösungsmittel nur in gut gelüfteten Räumen. Be- und entlüften Sie die Werkstatt in ausreichendem Maße. In engbegrenzten Räumen sollten Sie eine Atemschutzmaske mit Filtereinsatz tragen. Wenn es möglich ist, über dem Arbeitsbereich eine direkte Absaugung anzubringen, benutzen Sie diese für alle Arbeiten, bei denen Lösungsmittel gebraucht werden.
(5) Seien Sie besonders vorsichtig bei warmer Witterung, da dann Lösungsmitteldämpfe und Holzstaub zusammen ein erhöhtes Brandrisiko darstellen.
(6) Benutzen Sie keine Maschinenwerkzeuge und besteigen Sie keine Leitern, wenn Sie in einem geschlossenen Raum mit Lösungsmitteln gearbeitet haben. Stellen Sie Zeichen von Übelkeit oder Reizungen fest oder fühlen Sie sich „high“, begeben Sie sich sofort ins Freie. Die erste Hilfe für Ohnmachtsanfälle, die durch Lösungsmitteldämpfe hervorgerufen werden, ist frische Luft.

Holzstaub

Moderne Holzbearbeitungsmaschinen erzeugen hohe Staubkonzentrationen. Das Einatmen von Staub in größeren Mengen kann Bronchialbeschwerden hervorrufen. Chronische Reizungen der oberen Atemwege sind bei Holzarbeitern recht

häufig anzutreffen, die ebenalls öfter zu Krebs des Nasen-Rachenraumes neigen. Nach mehreren Jahren kontinuierlicher Arbeit in der Holzindustrie entsteht bei gewissen Personen ein chronisches Asthma.

Einige Hölzer rufen spezielle Beschwerden hervor, so daß der direkte Kontakt mit Staub, Baumsäften oder dem Harz bestimmter Bäume zu Reizungen und anderen allergischen Reaktionen führen kann. Obwohl die meisten Probleme bei den tropischen Hölzern auftreten, können z.B. Splitter einiger amerikanischer Holzarten – Douglas Fir ist das beste Beispiel – sehr schnell zu Infektionen führen. Durch das Ablagern des Holzes wird diese toxische Wirkung vermindert, da das Holz austrocknet und daher auch Teile der reizenden Extrakte verliert.

Die Sensibilität einer Person gegen Holz und Holzstaub folgt etwa dem gleichen Muster Wie diejenige gegen andere toxische Substanzen. Die Reaktion auf diese Stoffe tritt bei warmem Wetter verstärkt auf, besonders wenn sich der Staub auf der verschwitzten Haut absetzt. Außerdem betrifft diese Erscheinung besonders die bekannten Risikogruppen und Personen mit heller Hautfarbe. Beschwerden der Atemwege treten bei Rauchern und Personen, die ohnehin unter Atembeschwerden leiden, verstärkt auf.

Je geringer der Kontakt mit Holzstaub, Holzsaft und Harzen ist, desto geringer werden die Einflüsse auf den Menschen sein. Einige Grundregeln für die Werkstatt sollte man erstellen. Im folgenden geben wir Vorschläge für diese Regeln wieder:

(1) Seien Sie mit der Holzverarbeitung besonders vorsichtig, wenn Ihr Gesundheitszustand nicht gut ist, oder wenn Sie Grund zu der Annahme haben, daß Sie gegenüber Holz besonders empfindlich reagieren.
(2) Schleifen Sie Holz nur, wenn für ausreichende Be- und Entlüftung gesorgt ist. Falls die Luft in Ihrer Werkstatt besonders staubhaltig ist oder Sie in eng begrenzten Räumen über einen längeren Zeitraum schleifen müssen, tragen Sie eine Atemschutzmaske.
(3) Wenn die Luft in Ihrer Werkstatt sehr staubig ist, sorgen Sie dafür, daß jeder, nicht nur die Person, die gerade schleift, eine Staubschutzmaske trägt.
(4) Wenn man für bestimmte Arbeiten die Wahl hat, sollte man schneidende Werkzeuge, wie z.B. ein Stemmeisen oder einen Hobel benutzen und keine schleifenden Werkzeuge, wie z.B. Winkelschleifer oder Sandpapier.
(5) Soweit möglich, sollte naß und nicht trocken geschliffen werden.
(6) Wenn der Boden gefegt wird, sollte man ebenfalls eine Staubschutzmaske tragen und vorher Bindemittel auf den Boden streuen. Staubsaugen ist dem Fegen vorzuziehen, da weniger Staub in die Luft abgegeben wird.
(7) Installieren Sie Staubauffangbehälter an den Maschinen, die den meisten Schleifstaub erzeugen.
(8) Treffen Sie Vorsorge gegen Brandgefahr. Lagern Sie Lösungsmittel an einem sicheren Platz, benutzen Sie Heizgeräte besonders vorsichtig und stellen Sie feste Regeln für das Rauchen auf.

Bild 8.1 – Relative Giftigkeit ausgewählter Lösungsmittel

Lösungsmittel	Grenze der Giftigkeit (ppm)	Geruchs-Schwelle (ppm)	Betäubende Wirkung ppm/Zeit	Verdunstungsgrad Butylazetat = 1
Azeton	1000	200 – 400[1]	–[3]	7,7
Methylenchlorid	200	310	900 – 1200 (20 min.) 2000 (5 min.)[4]	14,5
Methyl-Äthyl-Keton	200	252	300/[3]	4,6
Toluol	100	200[2]	200/8 h. 600/3 h.	1,5
Terpentin	100	–[3]	–[3]	0,38
Xylol	100	–[3]	–[3]	0,75

[1] 200 – 400 ppm wurden nur bei erstmaligem Kontakt gemessen; höhere Konzentrationen als 700 ppm (parts per million = Teile auf 1 Mio.) können nicht festgestellt werden. (*Industrial Hygiene and Toxicology,* S.1729).
[2] *Industrial Hygiene and Toxicology,* Band II, F.A.Patty, Ed., Interscience Division of John Wiley & Sons, New York, 1965.
[3] Keine Angaben.
[4] Maximaler Wert innerhalb von 2 h. (OSHA).

Sicherheit in der Bootswerkstatt – Nähere Erläuterungen

In den letzten zwanzig Jahren hat man der Sicherheit am Arbeitsplatz sehr viel mehr Aufmerksamkeit gewidmet und hierbei wiederum den Auswirkungen der Chemikalien. Obwohl Künstler und Handwerker die gleichen Materialien benutzen und unter gleichen Bedingungen arbeiten wie in der Industrie, haben sie sich über die gesundheitliche Beeinflussung längst nicht soviel Gedanken gemacht wie die Industriearbeiter. Während Sie dieses hier lesen, bedenken Sie bitte, daß auch Sie – der vielleicht nur ein Boot bei sich zuhause nach Feierabend baut -die wichtigsten Sicherheitsregeln einhalten sollten. Sie sind es sich selbst schuldig, den höchsten Grad des Arbeits- und Gesundheitsschutzes in Ihrer Werkstatt einzuhalten. Es gibt niemanden, der das für Sie machen wird.

Der menschliche Körper ist dauernd irgendwelchen möglichen Gefahren in seiner natürlichen Umgebung ausgesetzt. Bakterien, Insekten, Schimmel und andere biologische Stoffe versuchen, den Körper anzugreifen. Toxische Chemikalien, die in verschmutzter Luft und in vielen Gegenständen des täglichen Lebens enthalten sind, beeinflussen den menschlichen Organismus. Weitere Streßfaktoren kommen aus den körperlichen Aktivitäten oder dem Mangel derselben, wenn z.B. der Körper gezwungen ist, längere Zeit stillzusitzen oder zu stehen, oder wenn man gezwungen ist, einen Gegenstand zu lange still in der Hand zu halten. Ebenso beeinflussen zuviel und zu wenig Hitze, Licht, Vibration oder Geräusche den Körper.

Normalerweise überstehen wir diese Angriffe recht gut. Der Schmerz ist ein gutes Warnsignal. Wenn uns irgendetwas Schmerzen bereitet, reagieren wir sofort und vermeiden damit ernstere Probleme. Mitunter kann es aber geschehen – besonders wenn wir nicht wissen, daß die Substanzen toxisch wirken –, daß unser Körper überrumpelt wird. Wenn das geschieht, kann unsere Gesundheit dauerhaft geschädigt werden. Die persönliche Empfindlichkeit gegen Streß im allgemeinen und toxische Materialien im besonderen hängen von verschiedenen Faktoren ab. Der erste betrifft die Gesamtmenge der Belastungen, denen der menschliche Körper ausgesetzt ist. Das Zusammentreffen von verschiedenen Formen von Streß – z.B. eine bakterielle Infektion und zusätzlich der Angriff durch toxische Lösungsmittel – vergrößert die Wahrscheinlichkeit einer Schädigung. Auch der Grad, in dem der Körper diesen Substanzen ausgesetzt ist, beeinflußt die Reaktion. Wer größere Mengen Lösungsmittel verbraucht und das noch häufig tut, sagen wir acht Stunden pro Tag, der wird eine stärkere Reaktion auf diese Mittel zeigen als jemand, der nur ein paar Minuten lang pro Woche damit arbeitet. Schließlich hängt die Reaktion von der toxischen Wirkung des speziellen Materials ab. Verschiedene Lösungsmittel sind so toxisch, auch in kleinen Mengen, daß sie ganz einfach nicht benutzt werden sollten.

Wer zu bestimmten Risikogruppen gehört, wird auch durch solche Streßfaktoren in stärkerem Maße beeinflußt. Kleine Kinder und ältere Leute haben sehr viel weniger Abwehrkräfte als junge Erwachsene. Asthmatiker, Raucher oder Menschen mit empfindlicher Lunge, mit Nieren- und Herzschädigungen werden stärker betroffen als gesunde Menschen. Allergiker können ebenfalls stärker auf diese Mittel reagieren als andere, wie auch z.B. Arbeiter, die andauernd bestimmten Chemikalien ausgesetzt sind, eher zu solchen Beschwerden neigen. Schwangere können ebenfalls gegen eine Reihe von Materialien besonders empfindlich sein. Die ungeborenen Kinder könnten durch Stoffe geschädigt wer•den, die durch die Placenta eindringen.

Gefährliche, belastende Stoffe können in den Körper auf drei Wegen eindringen: durch direkten Hautkontakt, durch Einatmen und damit durch das Atemsystem, oder durch Verschlucken, also durch den Mund und den Verdauungstrakt. Die Mittel können aber auch Augen, Ohren, Haut, Lunge, Herz, Leber, Nieren und das zentrale Nervensystem angreifen. Das Ausmaß einer solchen Schädigung hängt natürlich wieder von der persönlichen Empfindlichkeit, dem Grad der Giftigkeit und der Dosis des gefährlichen Stoffes ab. Welches Organ bevorzugt angegriffen wird, hängt davon ab, wie der Körper diesem Mittel ausgesetzt war und natürlich von dem Material selbst.

Bestimmte Menschen, insbesondere Schwangere und kleine Kinder sollten ganz einfach mit bestimmten Materialien nicht in Berührung kommen. Andere, einschließlich derer, die zu den Risikogruppen gezählt werden, müssen besondere Vorsichtsmaßnahmen treffen, damit die belastenden Stoffe nicht in den Körper eindringen können. Raucher können ihre Streßbelastung dadurch abbauen, daß sie ganz einfach mit dieser Unsitte aufhören. Wir können Gesundheitsrisiken abbauen, indem wir z.B. den Hautkontakt, das Inhalieren oder das Verschlucken dieser Stoffe vermeiden und gleichzeitig auch dadurch, daß wir die toxische Wirkung und den Grad des Kontaktes zum Teil selbst bestimmen können.

Wo immer es möglich ist, sollte man das Material benutzen, das den geringsten Grad der Giftigkeit aufweist und trotzdem für eine bestimmte Aufgabe geeignet ist, und wir sollten die Materialien in niedrigst möglicher Konzentration benutzen. Brennbare Flüssigkeiten müssen in entsprechenden Behältern gelagert werden und zwar an Stellen, die nicht von einer offenen Flamme erreicht werden können und ebenfalls nicht in der Nähe von Rauchern. Die Behälter sollten nach dem Abfüllen der Lösungsmittel sofort wieder verschlossen werden. Ebenfalls müssen Spritzer gleich wieder weggewischt werden. Zur Ausrüstung gehört auch ein Feuerlöscher, der gegen die verwendeten Stoffe geeignet ist. Wischlappen und Chemikalien gehören nach Gebrauch in einen verschlossenen Behälter.

Staub und Dämpfe können Schädigungen hervorrufen. Sorgen Sie dafür, daß die Werkstatt gut beund entlüftet wird. Finden Sie einen Weg, um kleine, engbegrenzte Räume direkt zu entlüften und verlegen Sie Schleifarbeiten, soweit es möglich ist, in diesen abgegrenzten Raum. Installieren Sie Staubsammelbehälter oder -beutel an allen stationären Maschinen. Soweit möglich, schleifen Sie naß und nicht trocken. Säubern Sie die Werkstatt regelmäßig, bevor Abfälle und Sägemehl sich aufhäufen. Wenn Sie den Boden fegen, legen Sie einen Mundschutz an und bestreuen Sie den Boden mit einem Bindemittel. Grundsätzlich ist das Saugen gegenüber dem Fegen vorzuziehen, weil es nicht so viel Staub aufwirbelt.

Die körperliche Hygiene ist ebenfalls ein wichtiges Argument bei der Sicherheit. Arbeitsanzüge gehören nicht in die gleiche Wäsche wie die normale Kleidung, insbesondere, wenn GFK verarbeitet wird. Essen und rauchen Sie nicht während der Arbeit und waschen Sie sich sehr gründlich nach Beendigung derselben, bevor Sie essen oder auch bevor Sie noch das Badezimmer aufsuchen. Vermeiden Sie Kontakt der Materialien mit Händen und Gesicht. Wenn trotzdem Spritzer auf die Haut gelangen, sollten diese sofort mit Wasser und Seife abgewaschen werden. Wenn Sie einen Arzt aufsuchen, sagen Sie ihm, mit welchen Stoffen Sie arbeiten, da diese auf Ihren gesamten Gesundheitszustand Auswirkungen haben könnten.

Schließlich stellen Sie sicher, daß Sie alle Hilfsmittel für den persönlichen Schutz vorrätig haben. Tragen Sie Sicherheitsbrillen oder Schutzbrillen, wie sie in der chemischen Industrie üblich sind, um Augenverletzungen zu vermeiden. Tragen Sie Handschuhe, wenn Sie Lösungsmittel und Epoxid verarbeiten, um jeden Hautkontakt zu vermeiden. Tragen Sie Staub masken , wenn Sie schleifen und Atemschutzgeräte, wenn Sie mit Lösungsmitteln Flächen säubern, um das Einatmen der Dämpfe zu verhindern. Wer laute Maschinenwerkzeuge benutzt, sollte einen Gehörschutz tragen, um die Ohren nicht zu schädigen. Alle diese Hilfsmittel schützen nur den, der sie trägt, deshalb ist es sinnvoll, sich daran zu erinnern, daß jeder in der Werkstatt z.B. eine Staubmaske tragen muß, wenn auch nur einer schleift und damit Staub erzeugt.

Über den Gebrauch von WEST SYSTEM Epoxid

WEST SYSTEM 205 und 206 Härter und in geringerem Maße 105 Harz können den Menschen auf zweierlei Weise beeinträchtigen. Härter sind korrodierende Reizstoffe und können daher chemische Verbrennungen unterschiedlichen Grades bei direktem Kontakt mit Augen oder Haut hervorrufen. Einzeln oder mit Harz vermischt, sind sie ebenfalls Reizstoffe: Es können sich Hautausschläge an Händen, Armen und im Gesicht bilden, wenn man diesen Stoffen wiederholt ausgesetzt war. Wir empfehlen, besonders sorgfältige Vorsichtsmaßnahmen zu treffen, um jeden Kontakt der Augen und der Haut mit dem Material auszuschalten.

Die Haut kann dadurch gereizt werden, daß man nachlässig mit Härtern oder Epoxidharz umgeht. Eine Reizung tritt aber üblicherweise erst nach wiederholtem Kontakt auf. Diese Chemikalien verursachen eine Veränderung der körpereigenen Proteine in der Form, daß Antikörper produziert werden. Das bedeutet, daß der Mensch auch später, eventuell sein ganzes Leben lang, gegen Epoxid und Härter, möglicherweise auch gegen ähnliche Materialien, allergisch bleibt. Obwohl die Wirkung des Härters verringert wird, wenn er dem Harz beigegeben ist, sollten auch die Mischungen mit den entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen gehandhabt werden.

Der wesentliche Grund einer Reizung liegt natürlich in dem direkten Kontakt zu Harz, Härter, Epoxidgemisch und ihren Dämpfen. Wer also jegliche Wirkung ausschließen will, sollte auch jeden Kontakt und das Einatmen dieser Substanzen vermeiden. Ohne diesen direkten Kontakt bilden sich auch keine Antikörper und das Problem entsteht gar nicht erst.

Bei der Verarbeitung von WEST SYSTEM Materialien sollte man unbedingt Plastikhandschuhe und einen Augenschutz tragen. Wer aus bestimmten Gründen keine Handschuhe tragen mag, sollte eine Schutzcreme auftragen. Wir bevorzugen allerdings Plastikhandschuhe, die wir nach Gebrauch wegwerfen, da die Schutzcreme leichter von der

Handfläche abgetragen wird und weil man nach getaner Arbeit die Handschuhe einfach ausziehen und wegwerfen kann. Wer eine großflächige Verleimung in Angriff nimmt, sollte zwischendurch das auf den Handschuhen klebende Harz entfernen, bevor es härtet.

Falls aber trotz aller Sorgfalt doch einmal Epoxid auf die Haut kommt, sollte dieses möglichst schnell mit einem Papiertuch und wasserfreiem Hautreiniger entfernt werden. Harz härtet auf der Haut schneller aus als auf Holz und kann innerhalb von Minuten hart sein. Aggressive Reinigungs- und Lösungsmittel trocknen die Haut aus und machen sie damit für eine Reizung noch empfindlicher. Wenn es aus bestimmten Gründen keine andere Möglichkeit gibt, als das WEST SYSTEM Harz mit einem Lösungsmittel von den Händen zu entfernen, sollte man ein Mittel mit niedriger Giftigkeit nehmen. Benutzen Sie das Lösungsmittel äußerst sparsam, und waschen Sie danach mit reichlich Wasser und Seife die Hände nach. Dauernde Benutzung von Reinigungsmitteln auf der Haut kann eben doch zu Schädigungen führen, also sollte man sie zum Säubern der Haut nicht regelmäßig benutzen.

Für längerdauernde, großflächige Arbeiten sollte man die Hände und Unterarme sowie das Gesicht mit einer Schutzcreme einreiben und trotzdem noch Plastikhandschuhe tragen. Bei sehr schmutzigen Arbeiten empfiehlt es sich, zusätzlich Schürzen zu tragen, die ebenfalls nach der Arbeit weggeworfen werden können. Harz kann nämlich durch die Kleidung hindurchdringen und dann auf der Haut aushärten. Falls einmal Epoxidharz auf die Kleidung tropft, sollte dieses sofort entfernt werden. Auch hierzu, wie auch für die benetzte Haut, empfehlen sich wieder Papiertücher und ein Hautreiniger.

Ein Schutzanzug und eine Staubmaske sind ein unbedingtes „Muß“, wenn man nur teilweise gehärtete Epoxidflächen schleift. Nach dem vollständigen Aushärten – 7 bis 30 Tage nach Aufbringen, abhängig von der Umgebungstemperatur – verliert WEST SYSTEM Harz einen Großteil seiner Toxidität. Bis dahin können allerdings Epoxid und Epoxidstaub Hautrötungen hervorrufen, wenn man gegen die Mittel allergisch ist. Diese Reaktion verstärkt sich noch, wenn sich der Staub auf der verschwitzten Haut absetzt. Das Einatmen des nicht vollständig gehärteten Epoxidstaubes kann bei empfindlichen Menschen zu asthmaähnlichen Symptomen führen.

Eine gute Lüftung hilft, die freie Staubmenge zu verkleinern und verringert damit auch die Gefahr einer Reizung durch Harz, Härter und die Dämpfe des angemischten Harzes. Üblicherweise rufen diese Dämpfe keine Probleme hervor, aber bei sehr lang andauernden Arbeiten, oder wenn das Harz beim Aushärten „kocht“, können diese Erscheinungen auftreten. Personen, die schon vorher unter Reizungen litten, können Hautreizungen oder Bronchialbeschwerden selbst dann bekommen, wenn sie später auch nur minimalen Mengen der Dämpfe ausgesetzt sind. Ist einmal bei warmer Witterung Harz im Mischbecher oder in einem anderen Gefäß in größeren Mengen ausgehärtet, ist dies eine mögliche Brandgefahr. Entwickelt sich bei der Polymerisation zuviel Hitze, kann das Gefäß schmelzen und möglicherweise sogar ein Feuer entstehen. Werden Gefäße, in denen sich unausgehärtetes Harz befindet, in den normalen Abfall geworfen, besteht dieselbe Gefahr. Wir empfehlen daher, solche Harzreste ins Freie zu bringen und sie auf einer nicht brennbaren Unterlage aushärten zu lassen. Beim Transport solcher Gefäße ist Vorsicht geboten, da sie sich stark erhitzt haben können. Als Regel sollte gelten, daß es sicherer ist, kleine Harz- und Härtermengen zusammenzumischen und sie in ihrem Gefäß dann hart werden zu lassen. Die gesetzlichen Vorschriften über solche Abfallstoffe sind von Land zu Land verschieden. Hier kann nur die entsprechende Behörde Klarheit schaffen. Auf jeden Fall sollten WEST SYSTEM Materialien niemals dort abgelagert werden, wo sie eine Beeinträchtigung der Umwelt hervorrufen können.

Lösungsmittel

Lösungsmittel sind für den normalen Bootsbauer unverzichtbar. Sie gehören allerdings auch zu den gefährlichsten Stoffen in einer Werkstatt. In den letzten Jahren haben sowohl die Regierungen wie auch die Industrie viele der Mittel eingehend unter die Lupe genommen. Einige sind als so gefährlich eingestuft worden, daß sie aus dem Markt genommen wurden.

Die meisten Lösungsmittel sind außerdem extrem leicht entflammbar. In reiner Form, aber auch in Farben und anderen Produkten untergemischt, sind sie häufig die Ursache für Brände. Man könnte sogar behaupten, daß die Brandgefahr durch Lösungsmittel ihr größtes Problem darstellt und zwar sowohl gegenüber der menschlichen Gesundheit wie auch gegenüber dem Eigentum.

Aus diesen Gründen ist es absolut notwendig, bestimmte Vorsichtsmaßnahmen einzuhalten, wenn man Lösungsmittel benutzt. Man muß also die Tabelle der Flammpunkte und der zulässigen Konzentration in der Atemluft sehr genau studieren, bevor man Lösungsmittel benutzt, und dann hilft nur: so wenig Kontakt wie möglich, so viel Lüftung

wie möglich und jede Flamme außerhalb der Reichweite. Abb.1 gibt eine Übersicht über mehrere Lösungsmittel, die im Bootsbau gebräuchlich sind.

Bootsbauer benutzen Lösungsmittel üblicherweise nur unregelmäßig, allerdings manchmal unter recht zweifelhaften Bedingungen und eigentlich immer ohne irgendwelche Hilfsmittel, um die Konzentration, der sie ausgesetzt sind, festzustellen. Man benutzt sie einmal für gelegentliche kleine Reinigungsarbeiten, mitunter 15 Minuten oder sogar 2 oder 3 Stunden lang, wenn man eine große Oberfläche säubert, oder beim Lackieren. Manche der Lösungsmittel geben einen Hinweis auf die Konzentration durch die Stärke des Geruchs, aber nicht immer kann man diese Signale wahrnehmen, z.B. dann nicht, wenn man ihnen mehrere Stunden ausgesetzt war oder wenn man eine Erkältung hat. Die für die Gesundheit zuständigen Behörden und Organisationen geben Grenzwerte für die Lösungsmittelmenge, die man innerhalb einer 40stündigen Arbeitswoche inhalieren darf, ohne bleibende Gesundheitsschäden davonzutragen und zwar in einer Konzentration von ppm (parts per million = Teile auf eine Million). Für denjenigen, der an seinem Boot zwölf Stunden pro Tag arbeitet und das während der gesamten Sieben-Tage-Woche, und der außerdem keine Möglichkeit hat, Luftproben zu nehmen, sind diese Werte wohl mehr theoretischer Natur.

Da es keine präzisen Meßmöglichkeiten für den Lösungsmittelgehalt der Atemluft gibt, bleibt dem Hobbybootsbauer nichts anderes übrig, als sich als verantwortungsbewußter Verbraucher zu verhalten und zur sicheren Seite hin zu tendieren. Obwohl diese Werte nicht unbedingt als Indikator für die Giftigkeit eines Stoffes benutzt werden können, geben doch die allgemein anerkannten zulässigen Konzentrationen einen guten Anhalt, besonders dann, wenn sie in Zusammenhang mit dem Verdunstungsgrad eines Lösungsmittels gesehen werden.

Aceton, das ja recht häufig benutzt wird, hat eine sehr hohe zulässige Konzentration, verdunstet aber gleichzeitig auch sehr stark. Das bedeutet, daß der Anteil in der Luft sehr viel schneller steigt als z.B. bei Xylol oder Terpentin. Diese beiden Mittel verdunsten langsamer, haben dafür aber auch nur eine niedrigere zulässige Konzentration. Die Probleme bei diesen beiden letztgenannten treten eigentlich nur dort auf, wo sie in der üblichen Form verwendet werden, nämlich bei Spritzen von Farben und Lacken. Da sich bei diesen Arbeitsverfahren sehr schnell große Mengen von Dämpfen bilden, sollte man möglichst auf das Spritzen verzichten, wenn man nicht eine besonders entlüftete Spritzkabine benutzt und ein Atemschutzgerät trägt.

Verdunstungsgrad und zulässige Konzentration sind nur zum Teil als Leitlinie für die Wahl der Lösungsmittel zu nutzen. Die Brandgefahr, die durch den Flammpunkt und die untere Explosionsgrenze gegeben sind, sollte ebenfalls die Entscheidung beeinflussen. Ein verhältnismäßig niedriger Flammpunkt deutet auf eine vergleichbar gefährliche Substanz hin. Wie Abb.2 zeigt, ist der niedrige Flammpunkt des Acetons eine seiner wesentlichen Nachteile. Einige Lösungsmittel sind nicht entzündlich und können daher auch nicht explodieren.

Damit es zur Explosion kommen kann, müssen die Lösungsmitteldämpfe allerdings eine hohe Konzentration erreicht haben. Das ist bei den üblichen Bootsbauarbeiten recht unwahrscheinlich, da dort die Lösungsmittel nur zum Reinigen benutzt werden. Die Gefahr wächst aber mit der Menge des Lösungsmittels, das innerhalb einer bestimmten Zeit verarbeitet wird, wenn z.B. keine Lüftung vorhanden ist. Wer das Innere eines Bootskörpers voll mit Aceton abwäscht, läuft Gefahr, daß die Konzentration in kurzer Zeit so hoch wird, daß tatsächlich eine Explosion entstehen kann. Auch das Spritzen von Lacken und Farben in einem unbelüfteten Raum kann zu diesen Schwierigkeiten führen.

Die größte Explosionsgefahr besteht aber bei warmem Wetter, wenn Lösungsmitteldämpfe und Holzstaub zusammen auftreten. Schon Holzstaub alleine ist ein Stoff, der Explosionen hervorrufen kann, und es bedarf nur sehr geringer zusätzlicher Lösungsmittelmengen, um eine Explosion hervorzurufen. Mit steigender Temperatur sinkt die für eine Explosion notwendige Lösungsmittelkonzentration. Ein Arbeiter, der mit der Hand schleift, könnte niemals genug Holzstaub in die Luft verteilen, um irgendwelche Schwierigkeiten zu verursachen, aber mehrere Leute, die z.B. mit Schwingschleifern arbeiten, könnten das sehr wohl. Eine offene Flamme kann ebenso eine Explosion hervorrufen wie ein plötzlicher Funke, der durch statische Aufladung oder durch eine nicht ganz einwandfreie elektrische Maschine entsteht.

Methylenchlorid, ein übliches und sehr wirksames Lösungsmittel, hat eine sehr hohe Verdunstungsrate. Es gibt Zweifel darüber, ob bei diesem Mittel die übliche Warnung vor zu hoher Konzentration durch zunehmenden Geruch deutlich genug ist. Man sollte also besser die Arbeit unterbrechen und sich in einen gut belüfteten Raum begeben, bevor die Konzentration so hoch liegt, daß man das Mittel deutlich am Geruch wahrnehmen kann.

Dieses Lösungsmittel ist übrigens nicht brennbar und kann nicht explodieren.

In hohen Konzentrationen inhaliert, zerfällt Methylenchlorid im menschlichen Körper in Kohlenmonoxyd und kann daher Herzrhythmusstörungen und Herzanfälle verursachen. Hohe Konzentrationen können ebenfalls das zentrale Nervensystem angreifen. Kontroverse Laboruntersuchungen kamen zu dem Ergebnis, daß es genetische Schäden und Krebs bei Tieren hervorrufen kann. Wiederholter Hautkontakt kann zu Ausschlägen führen. Auch die zulässige Konzentration von Methylenchlorid wird kontrovers beurteilt: Sie wird von verschiedenen Gesundheitsorganisationen bei 100 bzw. 500 ppm, verteilt über eine 40-Stunden-Woche, festgelegt. Trotz allem wird Methylenchlorid als einer der am wenigsten toxischen Stoffe der industriell genutzten Lösungsmittel betrachtet.

Wenn man Lösungsmittel vorsichtig und verantwortungsbewußt benutzt, werden sich hohe Konzentrationen von Dämpfen gar nicht bilden. Wer die Hinweise, die wir hier in diesem Kapitel gegeben haben, befolgt, wird wohl keine Probleme haben. Wenn allerdings der Kollege in Richtung Sicherheit nachlässiger ist, kann das Wissen über die Gefahren einer zu hohen Konzentration ganz nützlich sein.

Eine Belastung des zentralen Nervensystems mit leicht narkotischer Wirkung ist oftmals schwierig zu erkennen. Das kann zu Koordinationsschwierigkeiten führen, aber auch zu Fehlentscheidungen und in besonders schweren Fällen sogar zu Störungen des Gehirns. Wie Betrunkene erkennen auch Menschen unter starkem Lösungsmitteleinfluß nicht, wie weit sie bereits ihr Urteilsvermögen verloren haben.

Holz

Alle Bootsbaubetriebe sehen gleich aus: Sie sind staubige Räume mit Haufen von Holz und Sperrholz. Bootsbauer müssen mit dem Säge- und Schleifstaub leben und sie lieben das Holz geradezu. Sägemehl und Holz sind so „organisch“, daß wir sie eher für gesundheitsfördernd halten würden. Leider sind sie das ganz und gar nicht. Beide können die Gesundheit sehr beeinträchtigen.

Die heute benutzten hochtourigen Holzbearbeitungsmaschinen erzeugen hohe Staubkonzentrationen. Man braucht keinen Arzt, um zu erkennen, daß das Einatmen dieses Staubes negative Folgen haben kann. Das Inhalieren größerer Staubmengen wirkt sich auf die Bronchien aus. Die Welt ist voller Staub und normalerweise wird unser Atmungstrakt damit recht gut fertig. Der Schleim in unseren Lungen bindet die Fremdpartikel, die dann von den Flimmerhärchen wieder nach außen befördert werden. Der menschliche Körper hält erstaunlichen Mißbrauch seiner Organe aus, aber es gibt eben Grenzen. Rauchen, trockene Luft und hohe Staubkonzentration sind alles Dinge, die unseren Körper belasten. Wenn zwei oder drei dieser Streßfaktoren zusammen auftreten, wird die Belastung zu groß und die Gesundheit leidet.

Der Staub nordamerikanischer Bäume kann durchaus zu Leiden der Atmungswege führen. Insbesondere der Staub von Redwood erzeugt eine Krankheit, die der Lungenentzündung ähnelt. Innerhalb weniger Stunden nach dem Einatmen dieses Staubes können Bronchialbeschwerden, trockener Husten, Schüttelfrost, Schweiß und Fieber auftreten. Wiederholte Angriffe dieser Art auf den Organismus können zu einer dauernden Vernarbung des Lungengewebes führen. Der Staub von Western Red Cedar kann Asthma oder eine Entzündung der Nasenwege hervorrufen. Dies geschieht wahrscheinlich durch eine im Holz enthaltene Säure, die ihm auch seinen typischen Geruch gibt.

Wie Abb.3 zeigt, haben Harze, Alkaloide, Gerbsäure und andere Säuren sowie Salze und gummiartige Stoffe einiger Hölzer eine toxische Wirkung auf den menschlichen Körper. Der direkte Kontakt mit dem Staub oder den im Holz enthaltenen Flüssigkeiten dieser Bäume können Hautausschläge und andere allergische Reaktionen hervorrufen. Westindisches Satinholz und Mansonia werden als besonders gefährlich angesehen, da bereits ein einmaliger

Bild 8.2 – Vergleich der Zündpunkte und der unteren Explosionsgrenzen für ausgewählte Lösungsmittel

Lösungsmittel	Zündpunkt[1] °C	UEG[2] %
Azeton	–18	2,9
Methylenchlorid	–[3]	–
Methyl-Äthyl-Keton	–2	1,8
Toluol	7	1,2
Terpentin	34	0,8
Xylol	27	1,0

[1] Zündpunkt ist die niedrigste Temperatur, bei der in einem geschlossenen Behälter eine Flüssigkeit soweit verdampft, daß ein zündfähiges Gemisch in Verbindung mit Luft entsteht.

[2] Untere Explosionsgrenze (UEG) ist die Menge in % einer verdampften Flüssigkeit, die in Luft zu einem zündfähigen Gemisch führt.

[3] Nicht brennbar.

Kontakt reicht, um Ausschläge und Blasen hervorzurufen. Cocobola und andere tropische Hölzer sind ebenfalls für ihre Reizwirkung bekannt: Hautrötungen können bei wiederholtem Kontakt auftreten.

Wenn man den Kontakt zu Holzstaub und Holzsäften verringert, werden auch die Schwierigkeiten nicht auftreten. Hält man die bereits früher in diesem Kapitel gegebenen Hinweise ein, vermeidet man solche Schwierigkeiten. Schimmel und Pilze vermehren sich in Sägemehlhaufen recht gut und können Lunge, Haut, sowie Fuß- und Fingernägel befallen. Es lohnt sich also, Werkstatt und Werkzeuge regelmäßig zu säubern. Zuletzt sei noch einmal darauf hingewiesen, daß Holz eben ein feuergefährlicher Stoff ist, also treffen Sie auch hier Ihre Vorsichtsmaßregeln.

Bild 8.3 -Toxische Hölzer[1]

Holzart	Atem-Beschwerden[2]	Haut- und Augen-Allergien[3]
Zeder, Western Red (Thuja plicata)	x	x
Ebenholz (Diospyros)	x	x
Iroko/Kambala (Chlorophora excelsa)	x	x
Khaya (Khaya ivorensis)	x	x
Mahagoni (Swietenia macrophylla)		x
Makore (Tieghemella heckelii)	x	x
Teak (Tectona grandis)		x

[1] Diese Tabelle ist ein Auszug aus: „Health Hazards in Woodworking", von Stanley Wellborn, erschienen in *Fine Woodworking,* Winter 1977 und listet Hölzer auf, die allergische, toxische oder infizierende Wirkung haben können oder die Atemwege beeinträchtigen. Obwohl die Autoren darauf hinweisen, daß nicht jeder Mensch auf die Hölzer derart reagiert, schlagen sie vor, besondere Sorgfalt beim Schleifen oder Sägen walten zu lassen.

[2] Beschwerden der Atemwege beinhalten Brochitis, Asthma und Reizungen des Nasen-Rachenraumes.

[3] Haut- und Augen-Allergien beinhalten Hautentzündungen, Bindehautentzündung, Juckreiz und Ausschläge.

Eine Bemerkung über Sicherheit

Die Aufgabe dieses Kapitels soll es sein, Sie mit den möglichen Gefahren des Bootsbaus bekanntzumachen, insbesondere mit denen, die in Zusammenhang mit Verarbeitungsverfahren stehen, wie sie in diesem Buch beschrieben werden. Wir hoffen, daß wir Sie nicht zu sehr erschreckt haben, indem wir so offen über die unserer Ansicht nach möglichen Gefahren gesprochen haben. Mit guter Planung und entsprechenden Vorsichtsmaßregeln lassen sich alle diese Schwierigkeiten in den Griff bekommen, und man kann eine sichere Werkstatt einrichten.

Es gibt viele Sorten von Staub. Wir haben hier nur einige genannt. Der Staub von Mineralien wie Asbest und kristallinem Quarz ist ebenfalls recht gefährlich, besonders deshalb, weil Form, Langlebigkeit und chemische Zusammensetzung dieser Partikel ein Ausscheiden aus der Lunge erschweren. Auch der Staub von GFK, wie er z.B. durch das Schleifen eines Rumpfes entstehen kann, gehört zu diesen gefährlichen Stoffen. Wir empfehlen dringend, bei der Arbeit mit Glasgeweben eine Atemschutzmaske zu tragen. Sie werden selbst herausfinden, daß Handschuhe und eine feste Schutzkleidung Verletzungen und andere Beeinträchtigungen durch die Materialien verringert.

WEST SYSTEM Zuschlagstoffe und Additive sind verhältnismäßig ungefährlich. Trotzdem sollte man sie in ausreichend belüfteten Räumen verarbeiten und, einfach um den Körper nicht unnötig zu belasten, das Einatmen vermeiden. Wenn die Stoffe mit Epoxidharz gemischt und voll ausgehärtet sind, können die Additive ohne Gefährdung abgeschliffen werden.

Es gibt in einer Werkstatt noch andere Auslöser für mögliche Gesundheitsschäden. Wenn Sie hierüber Fragen haben, sprechen Sie mit Ihrem Arzt. In jüngster Zeit sind verschiedene Veröffentlichungen mit Sicherheitshinweisen, insbesondere für Künstler und Handwerker erschienen. Wir schlagen vor, daß Sie sich diese Publikationen beschaffen und im Hinblick auf die Stoffe, die Sie verarbeiten, durchlesen.

In diesem Kapitel haben wir insbesondere zu den Lösungsmitteln extreme Fälle geschildert. In einer normalen Boootsbauwerkstatt sind die Risiken durch Lösungsmittel, Feuer und Verletzung durch Maschinen etwa gleich hoch. Es hat wenig Zweck, sich lange über, die Gefahren der Lösungsmittel auszulassen, wenn man gleichzeitig nachlässig mit den Maschinen umgeht oder sich nicht um mögliche Brandgefahren kümmert. Wenn es darum geht, für

die eigene Werkstatt bestimmte Regeln und Praktiken aufzustellen, liegt es ausschließlich bei Ihnen, wie Sie Ihre Gesundheit und Sicherheit einschätzen.

Zum großen Teil sind mögliche Gesundheitsgefahren eine Angelegenheit des gesunden Menschenverstandes. Wer sich an einige Grundregeln hält, verantwortungsbewußt seine Entscheidungen trifft und gewisse Regeln einhält, dessen Werkstatt wird auch ein sicherer Arbeitsplatz sein.

Kapitel 9

Lamellieren und Verbinden

Unsere Bootsbauverfahren sind einfach und flexibel, da sie nur einige Grundfertigkeiten und Verfahrensschritte kennen: Lamellieren, Verbinden, Schäften, Beschichten und Lackieren. Genaue Hinweise über die Verwendung von WEST SYSTEM Epoxidharz für alle diese Anwendungszwecke werden hier und in den folgenden Kapiteln des Buches gegeben.

Beim Bau unserer Boote benutzen wir zwei Methoden, um Holzteile miteinander zu verbinden, die eine für die aussteifenden Elemente und Einrichtungsteile und die andere für das Herstellen von Rumpf- und Decksflächen. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit dem ersten Teil und enthält Hinweise für das Lamellieren von Holz, das Zusammenfügen von Holz mit Kernmaterialien und die Verbindung mit Spachtelkehlen. In den Kapiteln 17 – 21 geben wir detailliertere Hinweise über die verschiedenen Methoden des Rumpfbaus.

Wir sind der Meinung, daß das Kleben oder Leimen die wirkungsvollste und werkstoffgerechteste Art ist, um Holz zu verbinden. Unsere Verfahren, Holzfasern mit Epoxidharz zu verkleben, ähneln denen beim Bau eines GFK-Bootes (bei dem Glas und Polyesterharz miteinander verarbeitet werden), aber wir brauchen weniger Harz.

Grundsätze für das Lamellieren von Holz

Spanten, Stringer, Kiele, Steven und Decksbalken sind Bauelemente, die üblicherweise hergestellt werden, indem man mehrere Holzlagen miteinander verleimt, um das fertig geformte Teil zu erhalten. Der Hauptgrund, warum man diese Teile verleimt, liegt darin, daß man auf diese Weise ein Bauteil erhält, das genau die gewünschte Form und Kontur hat. Im traditionellen Bootsbau wurden diese Teile durch Dämpfen mit anschließendem Biegen, durch Krummhölzer oder dadurch hergestellt, daß man aus einem massiven Stück Holz die gewünschte Kontur heraussägte. Diese Einzelteile wurden dann anschließend mit Schrauben oder anderen Befestigungselementen zum gewünschten Bauteil zusammengesetzt.

Einmal abgesehen von der gewünschten endgültigen Form hat das Lamellieren von Holz noch mehrere positive Nebeneffekte:
(1) Hohe Festigkeit bei geringer Wahrscheinlichkeit verdeckter Fehlstellen. Jedes Stück Holz kann durch eine eingewachsene Fehlstelle bereits geschwächt sein. Wenn aber mehrere Teile durch Lamellieren verbunden werden, ist ein Defekt in einer dieser Lamellen von untergeordneter Bedeutung. Das heißt: je mehr Teile beim Lamellieren verarbeitet werden, desto kleiner wird die Fehlerquote.
(2) Ein lamelliertes Bauteil aus mehreren dünnen Lagen baut einen großen Teil der Spannungen, die durch das Biegen im Holz entstehen, bereits wieder ab. Bei massiven Bauteilen können diese Spannungen ganz erheblich werden.
(3) Das Lamellieren ist aber auch die sparsamste Art, Holz zu verwenden. Man kann auch kleinere Holzstücke durch Schäften noch miteinander verbinden, wobei die Regeln in Kapitel 10 eingehalten werden sollten. Außerdem kann man schmalere Holzstücke zur gewünschten Breite zusammensetzen.

Die Dicke einer jeden Holzlage innerhalb eines formverleimten Bauteils ist für den Erfolg von ganz entscheidender Bedeutung. Die Wahl der Dicke hängt hier ganz wesentlich von dem Grad der Verformung oder der Stärke der Krümmung ab. Wir benutzen hierfür Holz mit einer Stärke, das sich leicht um die gewünschte Kurve biegen läßt und prüfen es, indem wir ein kleines Muster sägen und dieses über die Form biegen, über die das fertige Bauteil später erstellt werden soll. Wenn es uns zu steif erscheint, hobeln oder schleifen wir es solange ab, bis es sich leicht anschmiegt. Wenn es um die Wahl der Dicke der Lamellen geht, sollte man bedenken, daß die Steifigkeit in der dritten Potenz der Dicke steigt, d.h. wenn ein Stück Holz doppelt so dick ist wie ein anderes, dann hat es eine achtfache Steifigkeit. Man muß also sehr vorsichtig an die Dicke herangehen, da sie für das Lamellieren von großer Bedeutung sein kann.

Die Dicke der Lamellen beeinflußt auch das Rückstellvermögen. Jedes lamellierte Bauteil be-

sitzt noch etwas „Erinnerung“. Wenn die Schraubzwingen gelöst und das Bauteil von der Form genommen wird, dann dehnt es sich etwas und stellt sich zurück. Je dünner die Lamellen sind, desto geringer ist dies Rückstellvermögen.

Außerdem muß man bedenken, daß es sehr leicht sein kann, eine einzelne Lamelle über eine Form zu biegen, daß dies bei mehreren aber erheblich schwieriger sein kann. Wenn z.B. zehn Furniere gleichzeitig gebogen werden müssen, ist die Summe des Widerstandes gegen Verformung aller dieser Teile möglicherweise mehr, als man erwartet hatte und man bei der vorgesehenen Verklammerung handhaben kann.

Andererseits sollte man Holz auch nicht dünner sägen als es wirklich notwendig ist. Abgesehen von dem möglichen Rückstellvermögen gibt es eigentlich keinen Grund, mehr Lagen zu verwenden als unbedingt notwendig. Wenn man dünnere Schichten benutzt, wo es auch dickere tun würden, verschwendet man einmal Holz, dann aber auch Zeit beim Sägen, Lamellieren und beim Verkleben der zusätzlichen Oberflächen.

Auch dort, wo es möglicherweise nicht notwendig ist, mehrere Schichten miteinander zu verleimen, um die gewünschte Form zu erhalten, lamellieren wir grundsätzlich Hölzer, die über 25 mm stark sind. Bei Massivholz von größerer Dicke kann es später eben sehr leicht zu Schwierigkeiten durch eingebaute Spannungen kommen, besonders bei Holz, das in der Trockenkammer heruntergetrocknet wurde, und das ist ja der größte Teil des Holzes heutzutage.

Die Vorbereitung des Holzes

Wenn man aus Massivholz Lamellen für das Verleimen herstellt, ist es das wesentliche Ziel, möglichst maßgenaue, dünne Hölzer zu bekommen, die sich beim Verleimen gut aneinander anschmiegen und kein übermäßiges Füllen von Fugen verlangen. Meistens wird man das Holz auf das gewünschte Maß aufsägen müssen, und wir empfehlen. hierfür eine Tischkreissäge von wenigstens 0,7 kW Leistung mit 250 mm Blattdurchmesser, so daß man genaue und glatte Schnitte erhält. Das ist besonders wichtig, wenn man keinen Zugang zu einem Dicktenhobel hat. Die Säge sollte sehr präzise eingestellt werden, so daß das Blatt wirklich parallel arbeitet und senkrecht zum Tisch steht. Bei Hölzern über 75 mm Höhe empfiehlt es sich, dieses von beiden Seiten aufzusägen, d.h. man sägt von der einen Seite bis über die halbe Höhe, dreht das Holz dann um und sägt es ganz auf. Es empfiehlt sich außerdem, auf dem Sägetisch Führungen anzuordnen und eventuell sogar noch federbelastete Niederhalter, die das Holz auf den Tisch drücken. Selbst mit der besten Sägetechnik wird es, was die Maßgenauigkeit angeht, doch einige kleine Unterschiede geben, aber Holz, das auf diese Weise aufgesägt wurde, ist üblicherweise für das Lamellieren geeignet.

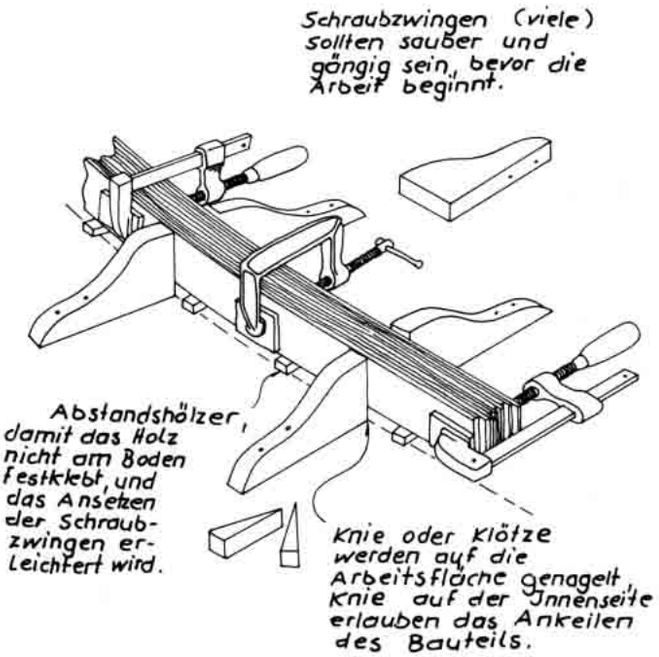

Schraubzwingen (viele) sollten sauber und gängig sein, bevor die Arbeit beginnt.
Abstandshölzer, damit das Holz nicht am Boden festklebt, und das Ansetzen der Schraubzwingen erleichtert wird.
Knie oder Klötze werden auf die Arbeitsfläche genagelt, Knie auf der Innenseite erlauben das Ankeilen des Bauteils.

Bild 9.1 – Schraubzwingen und K1enunvorrichtung, um Bauteile auf der Werkbank oder dem Fußboden zu Iamellieren.

Bild 9.2 – Das Lamellieren eines großen Bauteil für den Querträger eines Trimarans mithilfe von Knien, die auf dem Boden befestigt sind.

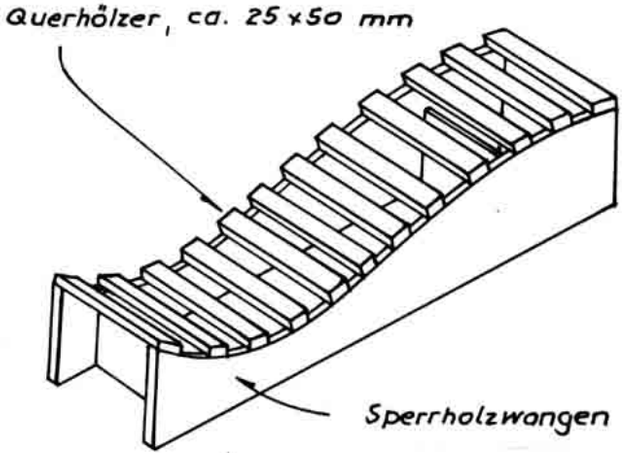


Bild 9.3 – Einfache Form für das Lamellieren breiter Teile.

Wer einen Dicktenhobel besitzt, wird die gesägten Hölzer noch einmal von beiden Seiten bearbeiten. Dazu braucht man nur wenig von der Oberfläche abzunehmen. Handwerker, die ihre Werkzeuge pflegen, haben oftmals die Gewohnheit, auch den Sägetisch einzuwachsen. Man sollte dabei beachten, daß das Wachs den guten Verbund behindern kann. Es müssen also alle Fettreste vom Tisch der Säge oder vom Dicktenhobel entfernt werden, bevor man mit der Arbeit beginnt.

Formen für das Lamellieren

Die beiden üblichen Verfahren, um Spanten, Stringer und gebogene Steven zu verleimen, sind die Block-oder die „Fußboden"-Methode. Bei dem letzteren Verfahren wird einfach der hölzerne Werkstattboden oder eine starke Sperrholzplatte als Untergrund benutzt, um hierauf Knie zu befestigen, mit denen man die Formen des Bauteils vorgibt. Die gewünschte Kontur wird zunächst auf dem Boden aufgerissen. Dann werden, wie in Abb.l gezeigt, Holzklötze ausgesägt, durchbohrt und entlang der Außenkontur des gewünschten Bauteils auf dem Boden verschraubt oder vernagelt. Eine zweite Serie dieser Holzklötze wird etwa entlang der inneren Kontur des Bauteils befestigt, wobei der Abstand zwischen beiden großzügig gewählt werden muß. Ist die Verformung sehr stark, empfiehlt es sich, Keile zu benutzen, die man dann zwischen die Klötze treiben kann. Es reicht durchaus, nur so viele Klötze zu benutzen, daß die Kontur vorgegeben wird, da man zwischen diesen ja eine beliebige Anzahl von Schraubzwingen ansetzen kann.

Einige lamellierte Bauteile können so breit sein, daß sie sich auf die beschriebene Art nicht herstellen lassen. In solchen Fällen bauen wir uns eine einfache Form, ähnlich der in Abb.3 gezeigten. Die gewünschte Kontur wird auf einer Sperrholzplatte angezeichnet, wobei man die Rippenbeplankung abziehen muß. Für diese Form brauchen wir zwei Wangen, die wir im gewünschten Abstand mit Querhölzern zusammenfügen, bevor auf der Konturseite die Querhölzer verleimt und vernagelt werden. Diese Form muß wirklich kräftig und robust sein. Auf ihr werden nun die Lamellen des gewünschten Bauteils mit Schraubzwingen befestigt. Oftmals kann man auch die vorhandenen Versteifungen eines Rumpfes als natürliche Bauform benutzen, was sehr viel Zeit spart. Man muß allerdings darauf achten, daß die bereits eingebauten Teile dadurch nicht beschädigt werden. Die Bauteile sollten mit Holzstücken abgedeckt werden, damit die Schraubzwingen keine Markierungen hinterlassen. Außerdem sollte man ein Stück Plastikfolie dazwischenlegen. Abb.4 zeigt Spanten, die in ihre Form gebracht werden, indem man die vorhandenen Stringer eines Rumpfes benutzt. Weitere Einzelheiten über diese Art des Lamellierens finden wir in Kapitel 21.

Zugaben für das Rückstellen

Alle lamellierten Bauteile verformen sich etwas, d.h. sie stellen sich zurück, wenn sie von der Bauform abgenommen werden. Dieses Rückstellvermögen kann 2 mm aber auch 20 oder 50 mm betragen und hängt von drei Faktoren ab: dem Grad der Verformung des Bauteils, der Dicke der einzelnen Lamellen und der Anzahl der Lamellen, aus denen man das Bauteil gefertigt hat. Wegen dieser drei Einflüsse gibt es keine präzisen Regeln darüber,

Bild 9.4 – Lamellieren von Bodenspanten, wobei die Stringer zur Formgebung benutzt werden.

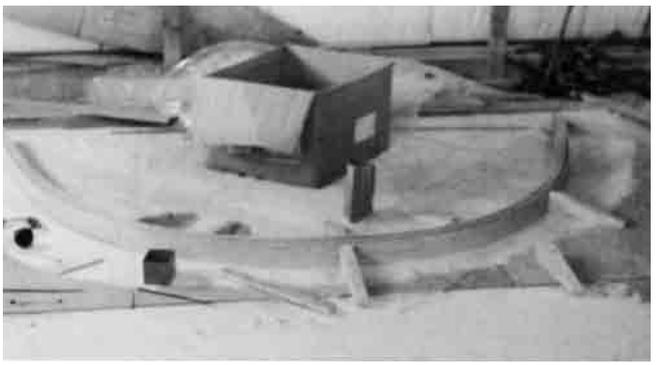


Bild 9.5 – Holzklötze sind auf den Boden geschraubt, um das Bauteil in die gewünschte Form zu bringen. Die Schraubzwingen rechts oben werden für die Probe und für das spätere Verleimen benutzt.

wie stark das Rückstellvermögen sein wird. Wenn man erst einige Teile lamelliert hat, entwickelt man sehr schnell ein Gefühl dafür, wie groß das Rückstellen sein wird. Man versucht natürlich, dies vorauszuahnen, um das formverleimte Teil bereits so stark zu „überkrümmen“ , daß es nach dem Rückstellen die gewünschte Form hat. Allerdings wird man diesen Zustand nur sehr selten erreichen, obwohl es möglich ist, der gewünschten Kurve sehr nahe zu kommen. Was man danach tun muß, um die exakten Abmessungen zu erhalten, wird später noch ausgeführt werden.

Trockenlauf und Anpressvedahren

Wer nicht sehr viel Erfahrungen mit stark verformten Bauteilen hat, sollte vor dem eigentlichen Lamellieren einen Probelauf machen. Dazu werden die einzelnen Lamellen ohne Epoxidharz über die Form gebogen und miteinander verklammert. Man erkennt so sehr leicht, ob sich das Bauteil auf die gewünschte Art herstellen läßt. Außerdem ist es eine gute Probe, ob genügend Schraubzwingen vorhanden sind. Man erkennt dabei zusätzlich sehr gut, ob es irgendwo Fugen gibt, ob der Anpreßdruck vergrößert werden muß oder ob man sogar das Holz nacharbeiten sollte. Sobald das WEST SYSTEM Epoxidharz aufgetragen ist, bleibt nur sehr wenig Zeit, um Korrekturen vorzunehmen und falls dieser Versuch fehlschlägt, ist das Material verloren und die Arbeit umsonst gewesen.

Um den Anpreßdruck der Schraubzwingen zu vergrößern, empfiehlt es sich, kleine Plättchen oder Klötzchen zu sägen, die zwischen die Backen der Schraubzwingen und das Bauteil gelegt werden. Man vermeidet so Markierungen der Schraubzwingen auf der späteren Holzoberfläche. Man kann zusätzlich beim Probelauf noch Markierungen auf dem Holz anbringen, um bei dem späteren eigentlichen Zusammenfügen die Schraubzwingen wieder an die richtigen Stellen zu setzen. Nach dem Entfernen der Schraubzwingen beim Probelauf sollte man diese dort liegenlassen, wo sie wieder gebraucht werden, so daß man nicht später, wenn die Zeit knapp ist, nach ihnen suchen muß.

Schraubzwingen sind meistens schwer und unhandlich und es kann lange dauern, bis man sie gespannt und richtig justiert hat. Bevor das eigentliche Lamellieren beginnt, sollte man sicherstellen, daß einmal genügend Schraubzwingen vorhanden sind, daß sie eine ausreichende Größe haben und daß sie auch funktionieren, d.h. daß kein Kleber ins Gewinde gelangt ist. Wenn wir ein Bauteil zum Lamellieren vorbereiten, verteilen wir mehr Schraubzwingen als wir zu benötigen glauben und legen sie dicht an das spätere Werkstück. Die normalen Schraubzwingen sind außerdem sehr viel schneller zu befestigen als die C-Zwingen. Wenn man aber letztere benutzt, sollten sie etwa auf die später benötigte Breite eingestellt werden.

Das Aufbringen von WEST SYSTEM Epoxidharz

Bei Bauteilen, die entweder groß sind oder aus sehr vielen Einzelstücken bestehen, sollte das Auftragen des Klebers sehr gut organisiert sein, so daß es später schnell vonstatten geht. Dazu wird die Werkbank mit einer Polyäthylenfolie abgedeckt, dann werden kleine Leisten quer über die Arbeitsfläche genagelt, damit die mit Harz eingestrichenen Flächen nicht auf der Unterlage festkleben. Zunächst wird die eine Seite der Lamellen mit Harz eingestrichen, dann umgedreht und auch die zweite Seite beschichtet. Die erste und letzte Lage eines Bauteils braucht natürlich nur einseitig beschichtet

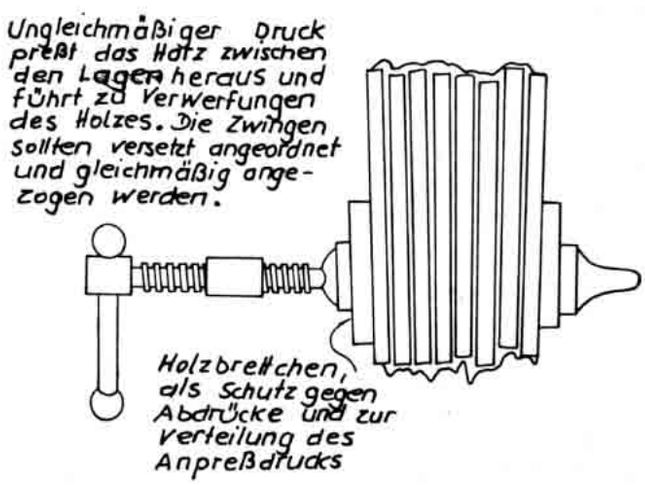

Ungleichmäßiger Druck preßt das Holz zwischen den Lagen heraus und führt zu Verwerfungen des Holzes. Die Zwingen sollten versetzt angeordnet und gleichmäßig angezogen werden.
Holzbrettchen, als Schutz gegen Abdrücke und zur Verteilung des Anpreßdrucks

Bild 9.6 – Hölzer zur Druckverteilung und Schraubzwingen-Druck.

zu werden. Danach werden die Lamellen übereinander gelegt. Man hat etwa eine Stunde Zeit, um das Harz aufzutragen, die Lamellen zusammenzufügen, sie in die Form zu legen und die Schraubzwingen anzusetzen. Bei Temperaturen über 30° C wird die Zeit kürzer, selbst wenn man den 206 Härter benutzt. Bei diesen Arbeiten nimmt das Auftragen des Klebers die meiste Zeit in Anspruch. Diese Zeit kann man abkürzen, wenn mehrere Mitarbeiter helfen.

Fast immer benutzen wir den hochdichten Füller, um die richtige Harzmischung für solche Bauteile zu finden, wobei die Viskosität der Mischung je nach Qualität des Holzes unterschiedlich sein kann. Rauhe Oberflächen bedingen möglicherweise eine Mischung mit sehr viel Fülleranteil, um die Fugen auszugleichen, d.h. eine dicke, sirupartige Konsistenz. Bei entsprechend glatten Oberflächen und ausreichendem Anpreßdruck braucht man dagegen nur wenig oder eventuell gar keine Füllstoffe.

Das Harz wird mit dem Füller intensiv verrührt und in die Ausrollschale gegossen. Zum Auftragen benutzt man einen Schaumroller der entsprechenden Breite – (wenn möglich der Breite des Bauteils). Das Harz wird mit Druck auf die Oberfläche aufgerollt, um die Menge unter Kontrolle zu halten. Bei angedicktem Harz ergibt das eine stärkere Lage, was ja auch erwünscht ist. Dünnflüssigeres Harz läßt sich leichter kontrollieren und sowohl in dünnen wie dicken Schichten aufbringen. Hier hängt es wieder von der Qualität der Oberfläche ab, wieviel Harz aufgetragen werden muß.

Wenn nun das Harz auf alle Flächen aufgetragen ist (wir benetzen immer beide Seiten der Lamellen), kann das eigentliche Lamellieren beginnen. Hat man schon eine Probe gemacht, braucht man das „Holzpaket“ nur noch in eine Plastikfolie einzuwickeln, damit es nicht an der Unterlage, den Holzklötzen oder den Schraubzwingen, verklebt. Man sollte aufpassen, daß die Plastikfolie nicht zwischen die Lamellen gerät und dann mit verleimt wird. Danach beginnt das Ansetzen der Schraubzwingen, was man sehr vorsichtig machen sollte, da das überschüssige Harz austreten muß. Dies braucht eine gewisse Zeit, und man wird die Schraubzwingen mehrere Male nachsetzen müssen. Tritt etwas Harz an den Kanten aus, ist das ein gutes Zeichen dafür, daß zwischen den Lamellen keine Fugen mehr vorhanden sind. Wenn allerdings sehr viel Harz austritt, wurde wahrscheinlich mehr aufgetragen als notwendig, und man sollte es bei der nächsten Arbeit korrigieren. Es hat keinen Zweck, die Schraubzwingen übermäßig stark anzuziehen, im Gegenteil: zu starker lokaler Anpreßdruck kann zu späteren Spannungen im Holz führen. Was man braucht, ist ein guter, solider, gleichmäßiger Druck.

Das Zupassen

Alle lamellierten Bauteile haben eine sogenannte Mallseite, also die Seite, die später mit anderen Bauteilen zusammenpassen muß. Diese Kontur benutzt man normalerweise, um die Form vorzugeben. Wenn das Harz ausgehärtet ist, wird das Bauteil von der Form abgenommen und auf Maßhaltigkeit geprüft. Man kann das entweder mit einer Schablone machen, die man aus dem Spantenriß abgenommen hat, oder indem man es in den Rumpf oder die Form einlegt und zwar an der Stelle, an der es später passen soll. Wenn sich das Holz be-

Bild 9.7 – Lamellierte Spanten, im Rumpf eingebaut.

Bild 9.8 – Lamellierte Bodenwrangen, zugepaßt und beschichtet, fertig für den Einbau.

trächtlich zurückgestellt hat, aber insgesamt doch leicht zu biegen ist, kann man es eventuelll so belassen und es später mit Druck in den Rumpf einfügen. Bei stark verformten lamellierten Bauteilen, bei denen sich das Holz so stark zurückgestellt hat, daß man es nicht mehr biegen kann, muß es in seine endgültige Form gebracht werden, wozu man sinnvollerweise eine Handsäge und einen Hobel benutzt. Abgesehen davon kann es nötig sein, das Bauteil zu schmiegen oder sonstwie nachzubearbeiten, z.B. dann, wenn man Stringer einfügen will – Üblicherweise werden diese Arbeitsgänge vorgenommen, nachdem das Bauteil im Boot befestigt wurde.

Die Verwendung von Kernmaterialien

Leichte Kernmaterialien werden oftmals zum Herstellen von Sandwich-Bauteilen verwendet, z.B. indem man sie mit Glasmatten oder -geweben überzieht. Man kann diese leichten Kerne aber auch zwischen zwei Lagen Holz verarbeiten, um so steife, leichte Platten zu bekommen. Es ist sogar eine besonders effektive Art, um eine besondere Steifigkeit in ein Bauteil zu bringen, wobei das Gewicht nur unwesentlich steigt und zwar immer dann, wenn man große Flächen herstellen muß, wie z.B. für Plichtboden, Kojenauflagen, Schotte, Schrankwände, Decks, Aufbaudächer und sogar Bootsrümpfe.

Viele Materialien haben eine gute Steifigkeit als flächiges Bauteil, aber viele von ihnen sind auch besonders schwer. Ein Kernmaterial muß leicht sein und es muß ausreichende Druck- und Schubfestigkeit aufweisen. Wir haben drei Kernmaterialien gefunden, die sich mit Epoxid gut verbinden lassen und zwar in der Art, daß sie zwischen Holz-Decksflächen eingebracht werden: sehr leichtes Holz, wie Balsa, sowohl mit oder quer zur Faser gesägt; verschiedene Arten von Hartschaum; und Wabenkerne, besonders die aus harzgetränktem Papier bestehenden.

Balsaholz ist eins der sehr guten Kernmaterialien. Wenn es als Hirnholzplatte verwendet wird, ergibt das einen Kern mit sehr hoher Druckfestigkeit. Wir haben auch Versuche mit längs zur Faser gesägtem Balsaholz durchgeführt, und zwar sowohl als Kern, wie auch um die Steifigkeit und Festigkeit von Platten zu erhöhen. Bedauerlicherweise ist Balsaholz ziemlich teuer und es ist nicht ratsam, Sorten zu verwenden, die nicht für diesen Zweck bereits aufbereitet wurden.

Wir haben des öfteren auch andere leichte Holzsorten als Kerne verwendet, wobei diese längs zur

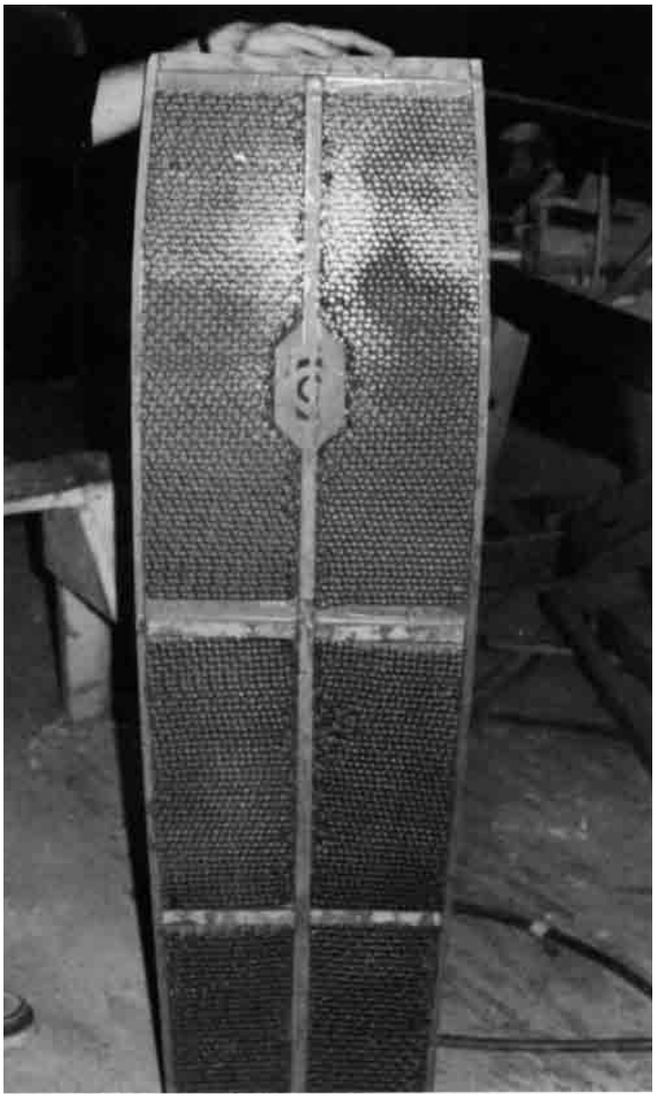


Bild 9.9 – Eisyacht der ON-Klasse. Der Boden zeigt Wabenkemmaterial, das von Leisten eingefaßt ist. Die Deckschicht ist noch nicht aufgebracht.

Faser gesägt wurden. Lamellierte Decksbalken sind ein gutes Beispiel dafür, wie man im oberen Teil eines Rumpfes Gewicht sparen kann, indem man Hölzer geringerer Dichte, z.B. Zeder, mit hochdichten Hölzern wie Douglas Fir oder Esche wechselweise verleimt. Der so entstehende Decksbalken hat ausreichende Steifigkeit und Festigkeit und ist sehr viel leichter als einer, den man ausschließlich mit Hölzern hoher Dichte hergestellt hat.

Schaumkerne verwenden wir sehr selten. Die halbstarren Typen wie Airex[R] und Klegecel[R] sind die einzigen Schäume, die wir für geeignet halten, aber sie sind in bezug auf die Festigkeit im Verhältnis zum Gewicht längst nicht so beeindruckend wie leichte Hölzer. Hartschaumstoffe sind verhältnismäßig unempfindlich gegen Schlagbeanspruchung und isolieren besser als andere Kernmaterialien, aber

sie sind so teuer, daß sie bei einer Verarbeitung mit Holz wohl den größten Teil der Kosten eines Bauteils verschlingen. Obwohl WEST SYSTEM Epoxidharz mit den meisten Schaumstoffen chemisch nicht so reagiert, daß der Schaum angegriffen wird – es sei denn, daß man das Harz so dick aufträgt, daß es sich übermäßig erhitzt – ziehen wir dann, wenn wir die Wahl zwischen Holz und Schaumkernen haben, das Holz vor.

Harzimprägniertes Wabenkernpapier, das z.B. als Verticel[R] angeboten wird, ist unser bevorzugtes Kernmaterial. Es ist die billigste Sorte von Wabenkernmaterialien, die auf dem Markt sind, und es läßt sich leicht verarbeiten und verkleben. Wir haben dies Material seit Jahren verwendet und finden, daß es durch sein niedriges Gewicht, seine ausgezeichnete Druck-und Schubfestigkeit für die meisten Anwendungszwecke geradezu ideal ist. Dies Wabenkernpapier läßt sich sowohl bei ebenen wie verformten Oberflächen benutzen. Es kann auch in leicht mehrfach gekrümmten Bauteilen wie Decks und Aufbaudächern verwendet werden, da sich die Zellen in einem gewissen Grad biegen und verformen lassen. Wir empfehlen die Sorte mit 15% Harzanteil.

Die Harzmenge an WEST SYSTEM Epoxid, die man zum Verkleben von zwei Flächen braucht, kann sehr unterschiedlich sein. Versuche mit Rumpflaminaten haben ergeben, daß man für 1 m^2 etwa 380 g Harz benötigt. Trägt man dagegen eine Mischung aus Harz und mitteldichtem Füllstoff mit einem Zahnspachtel auf, um z.B. Kernmaterialien mit Sperrholzoberflächen zu verbinden, braucht man etwa 270 g/m^2. Sind die Oberflächen bereits versiegelt, reichen etwa 175 g/m^2. Die Einflußgrößen für den Harzverbrauch sind hierbei: Güte und Dichte der Oberflächen, Topfzeit des Harzes, Umgebungstemperatur, Arbeitsgewohnheiten, Größe des Bauteils und die Art des Anpressens.

Das Verkleben von Kernmaterialien

Die verschiedenen Kernmaterialien bedingen auch leicht unterschiedliche Verklebungsverfahren. Hirnholz und Schaum schlucken eine beträchtliche Harzmenge, und in diesem Fall muß man mit entsprechendem Überschuß arbeiten, um eine wirklich gute Verklebung sicherzustellen. Die Zellen des harzimprägnierten Wabenkernpapiers verbinden sich mit Holz in einer sehr atypischen Form, da das Harz an den Kanten des Papiers leicht hochsteigt. Verwendet man dagegen längs zur Faser gesägtes Holz als Kern, so gelten die üblichen Hinweise für das Verbinden von Hölzern.

Hirnholz saugt eine Menge WEST SYSTEM Epoxid auf. Wird zuviel Harz in die Kernoberfläche eingesogen, kann es zu einer Verarmung der Klebeschicht führen. Wir empfehlen in diesem Fall das Verleimen in zwei Arbeitsschritten. Zunächst sollte mit dem Schaumroller das unangedickte Harz auf die Oberfläche aufgerollt werden. Die Menge muß ausreichend aber nicht übermäßig groß sein. Als nächstes wird eine Mischung aus Harz und 406 Füllstoff in sirup artiger Konsistenz auf den Kern aufgetragen. Hier muß die Menge ausreichend sein, um Lücken zwischen dem Kern und der späteren Deckfläche auszufüllen.

Diese Mischung wird für einen Rollenauftrag wohl zu dick sein. Man sollte dazu einen entsprechenden Spachtel benutzen. Abb. 10 zeigt einen solchen Zahnspachtel. Was die Zahnung angeht, muß man hier selbst etwas probieren.

Schaumkerne nehmen etwas weniger Harz auf als Hirnholz und der Harzverbrauch ist recht gut vorhersehbar. Wenn die großen Poren der Schaumoberfläche gefüllt sind, wird sich der Rest der Epoxid/Spachtel-Mischung in die Fugen zwischen Kernmaterial und Deckschicht verteilen. Da die Aufgabe ja darin besteht, einen Verbund herzustellen, der mindestens so fest ist wie der Schaum, sollte niedrigdichter, fugenfüllender Spachtel benutzt werden. Selbst wenn die Mischung sehr viel Füllstoffe enthält, wird die Verbindung immer noch stärker sein als der Schaum selbst. Um sicherzustellen, daß bei einem großporigen Schaum alle Fugen gefüllt sind, sollte die Mischung sogar besonders stark angedickt werden. Ein Zahnspachtel ist beim Verteilen der Spachtelmasse in die Fugen hilfreich.

Wabenkerne aus Papier sind in bezug auf ihre Verbindung zu den Deckschichten eine Besonderheit. Da das Material aus einzelnen Zellen von 6 bis 12 mm Durchmesser besteht, wird die Verbindung tatsächlich nur einen kleinen Teil der gesamten

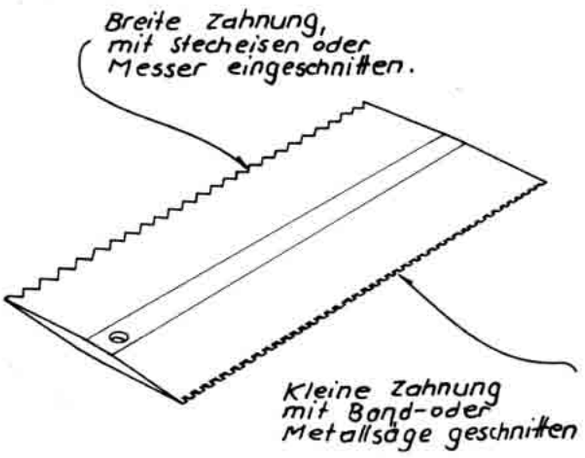


Bild 9.10 – Biegsamer Plastik-Spachtel mit Zähnen für das Aufbringen des Klebers.

Oberfläche erreichen. Es bilden sich eine Vielzahl von kleinen Spachtelkehlen, wenn sich das Kernmaterial an die Deckschicht anlegt. Der Kleber „bekommt Beine“, wenn er auf den Kern aufgebracht wird und, bedingt durch die Oberflächenspannung, zieht er sich leicht an den Stegen 1,5 bis max. 3 mm hoch. Hierdurch wird eine Verbindung erreicht, die erheblich stärker ist als das Wabenkernmaterial.

Was muß man nun tun, damit dieses „Hochlekken“ erreicht wird? Zunächst einmal sollte man den Schaumroller benutzen, um die Kanten des Kernmaterials mit der üblichen 5:1 Harzmischung zu benetzen. Man sollte dabei nicht versuchen, übermäßige Mengen aufzubringen – das Ziel ist, die Zellwände und Kanten zu tränken und zwar in der gleichen Art, wie man es bei einem ersten Beschichtungs auf trag auf Holz vornimmt. Dann – immer noch mit dem Schaumroller – muß eine dicke Schicht Harz auf die Oberfläche der Deckschicht aufgebracht werden. Wenn diese Flächen bereits vorgetränkt sind, erübrigt sich das. In diesem Fall sollte man den Hinweisen in Kapitel 11 folgen, um die getränkte Oberfläche für den Verbund vorzubereiten. Um eine zu starke Erhitzung zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Bauteile schnell zusammenzufügen, bevor das Harz noch anfängt zu härten.

Wenn die Passung zwischen den Wabenkernen und der Sperrholzoberfläche ganz eng ist, oder wenn man befürchtet, daß der Anpreßdruck nicht ausreicht, läßt sich diese Technik ändern. In diesem Fall wird zunächst das Kernmaterial mit Epoxidharz eingestrichen und dann das Sperrholz mit einer Mischung aus Epoxid und niedrig dichtem Spachtel beschichtet. Die Viskosität der Mischung hängt von der Passung zwischen Kern und Deckschicht ab. Bei einer rauhen Oberfläche empfiehlt es sich, das Epoxidharz höher zu füllen. Wenn feststeht, daß beide Teile fugenlos aufeinanderpassen, reicht ein normales, unangedicktes Harz in der entsprechenden Menge.

Bei der Verwendung von Wabenkernen ist es notwendig, trockene Stellen unbedingt zu vermeiden. Sie treten dann auf, wenn das Holz zuviel Harz aufsaugt. Wenn der größte Teil des Harzes in das Holz einzieht, reicht der Rest nicht mehr, um die genannten kleinen Spachtelkehlen zu bilden, die nun einmal für einen Festigkeitsverbund notwendig sind. Eine Möglichkeit, dies zu vermeiden, besteht darin, daß man das Holz etwa eine Stunde vor dem eigentlichen Verkleben tränkt, so daß die Epoxidschicht bereits angehärtet ist und dann erst das Kernmaterial aufbringt.

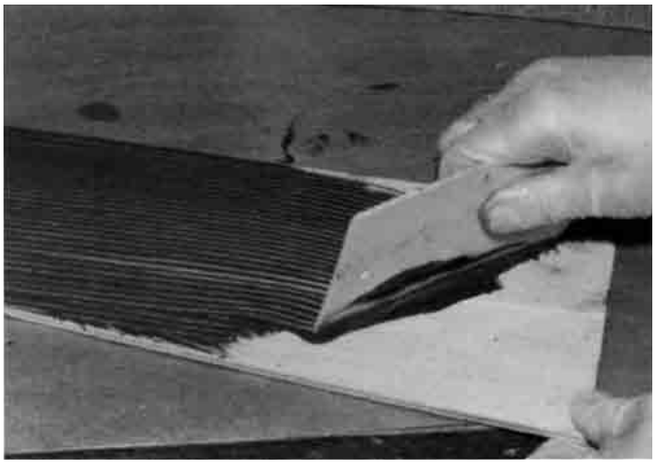


Bild 9.11 – Das Auftragen des Klebers mit dem Zahnspachtel.

Unabhängig davon, welches Kernmaterial und welche Klebermischung verwendet wird, kann der Festigkeitsverbund nur so gut sein wie die Verbindung zwischen den beiden Komponenten. Wir empfehlen, hierfür ein Muster herzustellen, und zwar mit den Materialien, die man bei dem wirklichen Arbeitsgang verwenden will. Dieser Prüfkörper sollte dann zerstört werden, um die Qualität der Verbindung festzustellen. Das ist einfach und schnell zu erreichen, und man kann so die ideale Mischung und die richtige Harzmenge für eine entsprechende Verbindung festlegen. Sobald man selbst einmal verschiedene Kernmaterialien auf diese Art getestet hat, besitzt man ausreichende Erfahrung, um die entsprechende Klebermenge für jede vorkommende Sandwich-Verklebung vorher festzulegen.

Um diesen Bruchversuch durchzuführen, werden 2 Musterstücke hergestellt von etwa 75 mm Breite und 250 mm Länge. Dann werden 2 Holzklötze von 50 x 50 x 100 mm dicht an die Kante der Werkbank gelegt, und zwar etwa 250 mm entfernt. Auf diese wird das Prüfstück gelegt und in der Mitte mit einer Schraubzwinge langsam durchgebogen, und zwar bis zum Bruch. Danach läßt sich feststellen, wie sich die einzelnen Teile der Sandwichplatte verhalten haben und wo und wie der Prüfkörper versagt hat. Das zweite Musterstück sollte dann in einen Schraubstock eingespannt und mit einem großen Hammer bearbeitet werden. Das gibt einen Hinweis darauf, wie gut sich dieses Bauteil unter Stoßbelastung verhalten wird.

Die Herstellung von Sandwich-Laminaten

Verbundlaminate aus mehreren Schichten lassen sich sehr leicht herstellen, wenn die Oberfläche

eben ist, sie sind etwas schwieriger bei leichter Krümmung in einer Richtung und aufwendig, wenn die Fläche in beiden Richtungen eine Krümmung aufweist.

Um flache Platten, wie Schotte, Wände, Türen, Arbeitsplatten, Kojenbretter und Fußböden herzustellen, braucht man eine ebene Fläche, die etwas größer ist als das herzustellende Teil. Das kann der Fußboden oder auch eine Werkbank sein. Plant man die Herstellung einer größeren Anzahl dieser Bauteile, lohnt es sich, eine spezielle Form herzustellen. Die Arbeitsfläche muß unbedingt eben sein, ohne Verwerfung.

Die einzelnen Bauteile, üblicherweise die beiden äußeren Schichten und das Kernmaterial, werden auf der Arbeitsfläche nacheinander aufgebracht, die Oberflächen mit Kleber eingestrichen und das Ganze dann mit Gewichten angedrückt. Alles, was sich leicht handhaben läßt und zwischen 1 und 5 kg wiegt, eignet sich als Anpreßgewicht. Es gibt eine Vielzahl fertiger Dinge, einschließlich Mauersteine und kleinerer Eisenteile, die sich hierfür verwenden lassen. In unserer Werkstatt benutzen wir regelmäßig Sandsäcke mit doppelter Hülle.

Wie viele Gewichte man braucht, hängt von dem Bauteil selbst ab. Auf jeden Fall muß der Anpreßdruck so groß sein, daß alle Schichten fest aufeinandergedrückt werden. Besteht die Außenschicht jeweils aus dünnem Sperrholz, braucht man nur sehr wenig Anpreßdruck, es sei denn, daß sich die Platten stark verworfen haben. Der Druck muß auf die gesamte Oberfläche der Deckschicht wirken, wozu man recht gut längere Holzabschnitte von Stringern, aber auch andere Hölzer gleicher Dicke oder Sperrholzabschnitte verwenden kann.

Auch mit Heftklammern läßt sich ein Anpreßdruck erzeugen. Normalerweise wird die Sandwichfläche an den äußeren Kanten Massivholzeinlagen oder Leisten erhalten, was wir als „Kernschicht-Rahmen“ bezeichnen. Diese Massivhölzer werden vorher auf die genaue Dicke des Kernmaterials zurechtgeschnitten und lassen sich dann überall dort einlegen, wo es notwendig ist. Es gibt Bauteile, bei denen diese Leisten so dicht liegen, daß ausschließlich mit Klammern der notwendige Anpreßdruck aufgebracht werden kann. Allerdings ist das nur empfehlenswert, wenn das Sperrholz eine entspre-

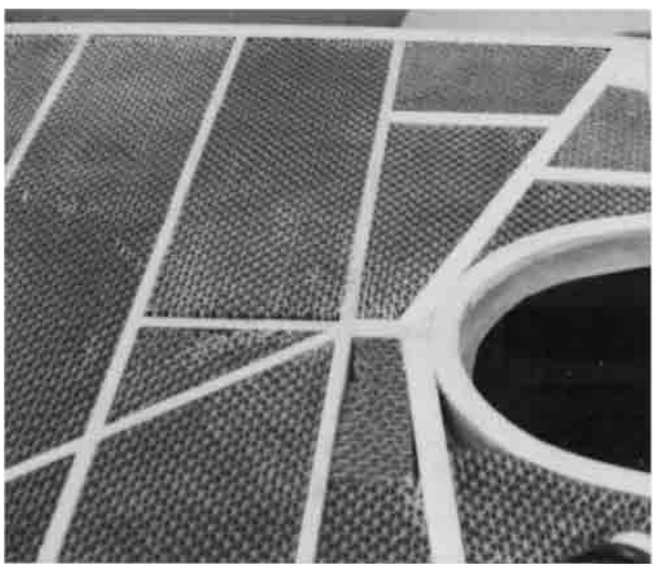


Bild 9.12 – Deckskonstruktion mit leichten Wabenkem-Platten. Siehe Kap. 25, in dem diese Bauweise eines Decks ausführlich beschrieben wird.

Bild 9.13 – Diese Plichtbänke bestehen aus gleichen Deckflächen. Die Flächen zwischen den Leisten können mit einem leichten Kemmaterial ausgefüllt werden. In diesem Fall waren die Leisten ausreichend, um die Sperrholzflächen gegeneinander abzusteifen.

Bild 9.14 – Gekrümmter Plichtboden in Sandwichbauweise. Die Querleisten wurden dazu formverleimt, bevor sie mit den Deckschichten verklebt wurden.

chende Dicke hat, da die Platte dann steifer ist. In den meisten Fällen, auch wenn man Heftklammern benutzt, braucht man doch noch eine ganze Menge zusätzlicher Gewichte, um die Fläche insgesamt gut anzupressen.

Normalerweise planen wir unsere Sandwichlaminate direkt auf der Sperrholzoberfläche, die eine der Deckschichten bilden soll. Sobald die äußeren Umrisse dieser Platte festliegen, wird eine zweite, exakt gleiche geschnitten, die Kanten werden allerdings mit einem leichten Übermaß hergestellt (um später die Nacharbeit zu erleichtern). Dann werden die Leisten angepaßt und auch die entsprechenden Füllstücke innerhalb der Fläche. Sobald der Rahmen paßt, wird er entweder mit Heftklammern angeschossen oder eben nur durch Gewichte befestigt, bis das Harz angehärtet ist. Dann läßt sich ohne Schwierigkeiten das eigentliche Kernmaterial dazwischenpassen und ebenfalls mit Kleber verbinden. Zum Schluß wird nun die Deckschicht aufgelegt und auch mit Gewichten beschwert.

Leicht gekrümmte Sandwichplatten lassen sich ähnlich herstellen wie die flachen; allerdings braucht man eine entsprechende Form. Diese muß eine gut strakende Oberfläche haben, über die sich die Bauteile des späteren Sandwichteils gut anlegen lassen. Eine gute Form stellt sicher, daß das spätere Laminat eine entsprechend gefällige Form hat und nur verhältnismäßig wenig Schraubzwingen oder Gewichte benötigt, um einen guten Kontakt zwischen den Einzellagen herzustellen. Eine leicht gekrümmte Oberfläche erleichtert auch das Anpressen mit Schraubzwingen. Am einfachsten läßt sich das bewerkstelligen, indem man Kanthölzer quer über das Bauteil legt und beidseitig mit Schraubzwingen niederdrückt.

Sandwichplatten mit einer Oberfläche, die in zwei Richtungen gekrümmt ist, erfordern einen recht hohen Arbeitsaufwand, es sei denn, daß genügend Massivhölzer das Anpressen durch Heftklammern erleichtern. Aber auch dann sollten diese laminierten Bauteile nicht aus Sperrholzplatten, sondern aus Furnierstreifen bestehen, die entsprechend den Hinweisen in Kapitel 18 aufgebracht werden. Die beste Art der Herstellung bei diesen komplizierten Bauteilen ist das Anpressen mit Vakuum. Bedauerlicherweise erfordert diese Methode aber sehr viel Zeit und ist recht aufwendig, wenn nur ein einzelnes Bauteil hergestellt werden soll.

Verbund mittels Spachtelkehlen

Das Anbringen von Spachtelkehlen hat sich zu einer äußerst vielseitigen Methode bei der Verbindung von hölzernen Bauteilen entwickelt, besonders dann, wenn diese etwa oder genau in einem Winkel von 90° zueinander liegen. Im Prinzip ist die Spachtelkehle eine durchlaufende Schnur aus angedicktem Harz, die in den Winkel zwischen die beiden zu verbindenden Bauteile eingebracht wird. Sie vergrößert die Klebefläche und dient als Festigkeitsbrücke. Diese Art der Verbindung benötigt keine weiteren Befestigungselemente und läßt sich so fest herstellen wie die zu verbindenden Teile. Die Anwendung von Spachtelkehlen in Verbindung mit Glasbändern wird ausführlich in Kapitel 22 erklärt.

Spachtelkehlen dieser Art haben allerdings Grenzen. Man kann mit ihnen keine stumpfen Stöße herstellen und die Anwendung ist beschränkt auf Teile, die in etwa im rechten Winkel zueinander

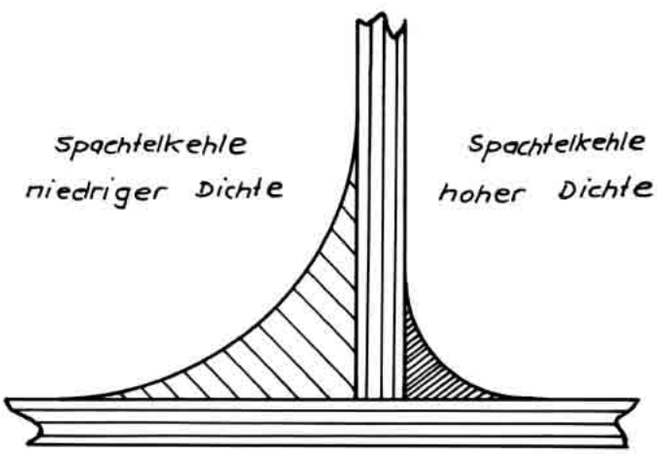
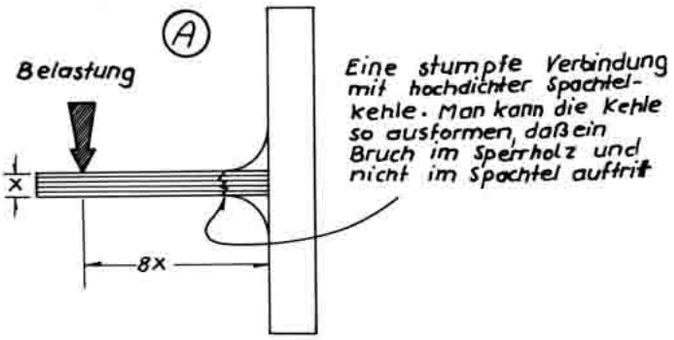


Bild 9.15


A
Belastung
Eine stumpfe Verbindung mit hochdichter Spachtelkehle. Man kann die Kehle so ausformen, daß ein Bruch im Sperrholz und nicht im Spachtel auftritt
X
8X

	Sperrholzstärke	Spachtel-Radius mm
Hochdichte Spachtelkehle	4 5 6	16 19 22
	Die Radien sind groß genug um einen Bruch im Holz hervorzurufen	
Niedrigdichte Spachtelkehle	4 5 6	45 45 45
	Radien bis zu 45 mm einschl. versagten wie in Beispiel B	

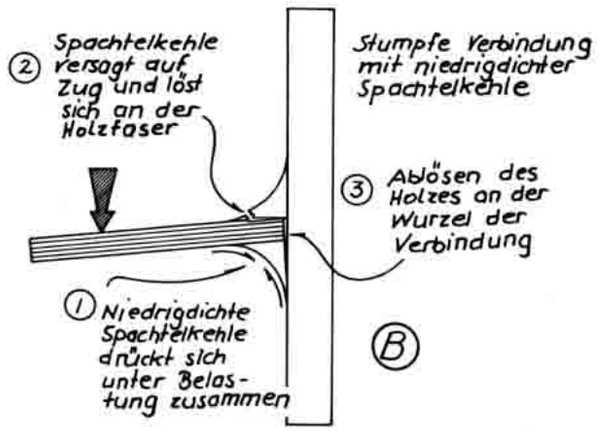

2 Spachtelkehle versagt auf Zug und löst sich an der Holzfaser
Stumpfe Verbindung mit niedrigdichter Spachtelkehle
3 Ablösen des Holzes an der Wurzel der Verbindung
1 Niedrigdichte Spachtelkehle drückt sich unter Belastung zusammen
B

Bild 9.16 – Versuchsergebnisse und Versagensformen von Prüfkörpem mit niedrig-und hochdichten Spachtelkehlen.

liegen. Die besten Erfolge erzielt man bei dünneren Materialstärken, etwa bis 6 mm. Bis zu dieser Dicke, z.B. einer Sperrholzplatte, ist es sehr einfach, eine Verbindung herzustellen, die wenigstens die Materialfestigkeit aufweist. Bei stärkeren Platten muß auch die Spachtel kehle entsprechend dikker werden. Diese starken oder breiten Spachtelkehlen sind deshalb nicht so interessant, weil sie einmal die Kosten nach oben treiben (Holz ist sehr viel billiger als WEST SYSTEM Harz), und weil das Aufbringen schwieriger wird (eine große Spachtelkehle ist recht unhandlich durch die Menge des Harz/Füllstoff-Gemisches, das im nicht ausgehärteten Zustand in dieser Menge schwierig zu verarbeiten ist).

Eine Verbindung durch eine Spachtelkehle ist dann von Vorteil, wenn die Bauteile in einem schwierigen Winkel aufeinandertreffen. Ein gutes Beispiel hierfür ist ein Schott, das in einem unterschiedlichen Winkel auf die Außenhaut trifft. Im traditionellen Bootsbau würde man eine recht aufwendig herzustellende Eckleiste einbringen, die dann auf die Schmiege des Rumpfes und auf das Schott abgestimmt sein muß, wofür man erhebliche Arbeitsstunden benötigt. Eine Spachtelkehle erfüllt aber genau den gleichen Zweck, hat die gleiche Festigkeit und läßt sich leicht und schnell aufbringen. Andere Bauteile der Innenausstattung wie Schränke, Kojen, Teilschotte, Sitze, Arbeitsplatten und Fußböden kann man ebenso leicht und schnell mit Hilfe einer Spachtelkehle im Rumpf verkleben. Einige dieser Teile, wie z.B. Borde und Schränke kann man sogar mit sehr kleinen Spachtelkehlen befestigen, die zwar nicht die Materialfestigkeit erreichen, aber für ihren Zweck völlig ausreichend sind.

Wir benutzen Spachtelkehlen außerdem noch, um bestehende Verbindungen zu verstärken. Eine Spachtelkehle dieser Art ist eine einfache und schnelle Methode, um die Klebefläche zwischen 2 Bauteilen zu vergrößern. So lassen sich z.B. Spanten oder Stringer vergrößern, wenn man beidseitig eine solche Spachtelkehle aufbringt. Als Alternative würde sich hierzu nur eine Vergrößerung des Versteifungselements anbieten mit Abmessungen, die für die Festigkeit gar nicht notwendig sind, sondern lediglich die Klebefläche vergrößern sollen. Die Spachtelkehle löst das Problem mit erheblich weniger zusätzlichem Gewicht.

Zur Herstellung der Spachtelmasse wird WEST SYSTEM Harz mit verschiedenen Füllstoffen versetzt. Die Aufgabe besteht darin, die bestmögliche Verbindung bei geringstem Gewicht herzustellen, so daß als Füllstoff das Material mit dem niedrigsten Gewicht verwendet werden sollte. Gleichzeitig muß aber diese Verbindung so fest sein, daß ein Versagen eher im Holz als in der Spachtelkehle auftritt. Wenn hochfeste Verbindungen erwünscht sind, benutzen wir 406 Füller, den wir mit Harz etwa zu einer Konsistenz von Erdnußbutter anrühren. Das ergibt ein Material, das sich gut ausstreichen läßt und unter seinem Eigengewicht nicht abtropft.

Für die meisten Verwendungszwecke braucht man den hochdichten Füller jedoch nicht, da seine mechanischen Festigkeiten weit oberhalb derjenigen der Holzfaser liegen. Deshalb stellen wir einen niedrigdichten Spachtel her, indem wir den 406 Füllstoff mit niedrigdichtem Füller vermischen, und zwar in einem Verhältnis, das sich an der benötigten Festigkeit orientiert. WEST SYSTEM 405 Spachtelmischung kann den Harzansätzen beigegeben werden, wenn Spachtelkehlen an Sichtflächen angebracht werden sollen. Die Masse ist so eingefärbt, daß sie bei den meisten Hölzern nur gering in Erscheinung tritt.

Abb.16 zeigt die Ergebnisse von Versuchen, die wir mit verschiedenen Sperrholzdicken, Füllern und Spachtelkehlen durchgeführt haben. Genau genommen beziehen sich die Ergebnisse nur auf das Sperrholz, das wir geprüft haben und könnten bei anderen Hölzern etwas unterschiedlich liegen. Wegen der vielen Einflußfaktoren ist es nicht möglich, genaue Größen und Arten dieser Spachtelkehlen für jeden Verwendungszweck anzugeben. Man sollte hier seine eigenen Erfahrungen sammeln. Bei diesen ersten Versuchen erhält man auch sehr schnell ein gutes Gefühl für die Festigkeit und die Grenzen einer Spachtelkehle als Verbindungsmethode. Wer erst einmal eine gewisse praktische Kenntnis erworben hat, wird beim Bootsbau auf viele Stellen treffen, in denen eine derartige Verbindung sowohl die Festigkeit vergrößert wie auch Zeit spart.

Am einfachsten ist es, ein Prüfstück ähnlich dem in Abb.16 herzustellen und zwar aus dem Material, das man auch später benutzen will. Die Größe der Spachtelkehle und die Mischung sollte entsprechend den Hinweisen abgeschätzt werden. Das Prüfstück wird dann mit einer Spachtelkehle versehen und wenigstens 24 Stunden gehärtet, sofern nicht die Zeit durch Erwärmung abgekürzt werden kann. Das Prüfstück wird dann in einen Schraubstock eingespannt und belastet. Die Last sollte etwa in einem Abstand von 8 x Materialdicke aufgebracht werden. Wenn das Bauteil einen sauberen Bruch zeigt, ohne die Spachtelstelle auseinanderzutreiben, hat man die Materialfestigkeit erreicht, und zwar die Bruchfestigkeit bei einem einseitig eingespannten Balken. Das darf dann als ausreichende Festigkeit für eine Verwendung im Bootsbau angesehen werden. Tritt der Bruch innerhalb der Spachtelkehle oder entlang der Holzfläche auf, sollte ein neues Prüfstück mit einer größeren Spachtelkehle hergestellt werden. Auch dies Stück wird dann dem gleichen Versuch unterzogen, bis die Verbindung zufriedenstellend ist.

Das Aufbringen der Spachtelkehle

Der Auftrag einer Spachtelkehle umfaßt 5 Schritte:
(1) das Zupassen und Markieren der zu verbindenden Teile,
(2) das Auftragen der Epoxid-Spachtelmasse in die Verbindung,
(3) das Ausformen der Kehle nach Größe und Form,
(4) das Nachputzen der Kehle,
(5) das Schleifen und Beschichten.

Wenn eine solche Spachtelkehle eine sinnvolle Verbindungsart sein soll, muß man sie mit Leichtigkeit und recht schnell aufbringen können. Gleichzeitig will man auch eine Spachtelkehle erreichen die dem Auge gefällig ist und die Schönheit des Bootes nicht beeinträchtigt. Der erste Versuch wird sicher unbefriedigend sein und langsam vonstatten gehen, aber glücklicherweise braucht man nicht lange, um eine gewisse Fertigkeit zu erlangen.

Alle Teile müssen so sorgfältig wie möglich zugepaßt werden. Je kleiner die Fugen, desto weniger mechanische Belastung muß die Spachtelkehle übertragen. Wenn die Teile gut aufeinanderpassen, sollten mehrere Stichmaße aufgetragen werden, so daß man die Teile auseinandernehmen und später wieder schnell und paßgenau zusammensetzen kann. Um beim Anmischen der Spachtelmasse und bei der Vorbereitung Zeit zu sparen, sollte man gleichzeitig mehrere Teile vorbereiten und in einem Arbeitsgang verarbeiten.

Sind die Teile nicht beschichtet, sollte zunächst ein Harzanstrich aufgetragen werden, etwas größer als die Fuge, die später der Spachtel ausfüllt. Wird rohes Holz auf diese Weise verbunden, kann es zuviel Harz aus der Mischung ziehen, so daß die Spachtelmasse eindickt und man sie kaum noch

Bild 9.17 – Eine Spachtelkehle wird mit einer Einmal-Spritze aufgetragen.

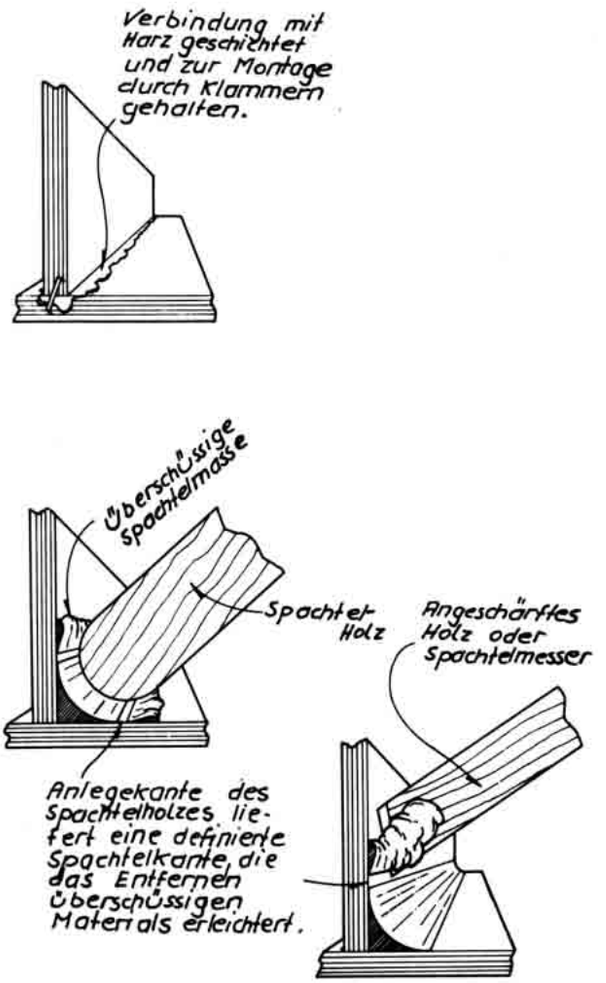

Verbindung mit Harz geschichtet und zur Montage durch Klammern gehalten.
Überschüssige Spachtelmasse
Spachtel-Holz
Angeschärftes Holz oder Spachtelmesser
Anlegekante des Spachtelholzes liefert eine definierte Spachtelkante, die das Entfernen überschüssigen Materials erleichtert.

Bild 9.18 – Richtige Arbeitsfolge für das Auftragen und Ausputzen einer Spachtelkehle.

Runde Kunststoffscheibe, aus einem Dosendeckel geschnitten und mit Handgriff verschraubt
Dieses Werkzeug wurde uns empfohlen und hat sich gut bewährt. Die Scheibe kann für jeden gewünschten Radius hergestellt werden und läßt sich leicht säubern.

Bild 9.19 – Einfaches Werkzeug für Spachtelkehlen.

bearbeiten kann. Ist das Holz bereits vorbehandelt, wie später in Kapitel 11 beschrieben, braucht man die Fläche nur kurz anzuschleifen, um einen guten Verbund zu erzielen.

Sind die Teile nun fertig, wird Epoxidharz mit der entsprechenden Menge Füllstoff vermischt. Gute, glatte Spachtelkehlen hängen von der korrekten Viskosität der Masse ab, und mit ein wenig Erfahrung wird man die richtige Mischung schnell herausgefunden haben. Bei größeren Kehlen wird die Viskosität erheblich kritischer. Da die Menge und damit das Gewicht der Spachtelmasse steigen, besteht eher die Neigung abzulaufen oder abzutropfen.

Eine Lösung dieses Problems besteht darin, daß man den Spachtel noch dicker anrührt, aber das führt dann zu Spachtelkehlen, die nur sehr schwer sauber aufzutragen sind und später sehr viel Nacharbeit verlangen. Eine sehr dicke Mischung wird möglicherweise auch nicht den Untergrund entsprechend durchdringen, so daß der Verbund schlecht wird. Wir haben herausgefunden, daß eine sehr wirkungsvolle Arbeitsweise darin besteht, daß man zunächst etwa 60% der Spachtelmasse aufträgt und dann, wenn das Harz zu härten beginnt, die restliche Menge darüberzieht.

Zur Vorbereitung dieses Arbeitsganges wird zunächst direkt an die Verbindungsstelle eine ausreichend große Menge Spachtelmasse aufgetragen. Dann werden die Holzteile nach den Stichmaßen aufeinandergesetzt und in der richtigen Lage befestigt, wobei man Klammern, kleine Nägel oder Schraubzwingen benutzen kann, um die Teile in ihrer Position zu halten. Ein Großteil der Spachtelmasse wird nun an den Seiten herausquellen und ist dann bereits an der richtigen Stelle, um die Spachtelkehle aufzufüllen.

Nun wird entlang der Verbindung die entsprechende Menge Spachtelmasse aufgetragen. Ein flaches Hölzchen mit abgerundeten Ecken ist ein gutes Werkzeug, um den Spachtel aufzutragen und gleichzeitig, um ihn vorläufig zu glätten. Der Schlüssel zum Erfolg dieses Arbeitsganges besteht darin, möglichst genau die notwendige Spachtelmasse aufzutragen. Es ist besser, ein wenig mehr aufzutragen, als später die Fuge aufzufüllen, denn überschüssiges Material ist leicht zu entfernen. Früher haben wir schon verschiedene Werkzeuge für die Ausführung von Spachtelkehlen empfohlen. Einweg-Tortengußbeutel sind gut geeignet, um eine präzise Spachtelkehle auszubilden, aber gar nicht so

leicht zu finden. Große Spritzen eignen sich ebenfalls recht gut, aber das Füllen und Reinigen braucht seine Zeit. Obwohl es die einfachste Lösung zu sein scheint, die Spachtelkehle mit dem Finger nachzuziehen, sollte man es trotzdem nicht tun, denn man könnte sich Holzsplitter durch den Handschuh hindurch in den Finger reißen, und das kann recht schmerzhaft sein.

Um nun die Spachtelkehle sauber nachzuziehen, empfiehlt sich ein Hölzchen, das an einer Seite gerundet wird und etwas größer ist als die Spachtelkehle selbst. So erhält man beim Längsziehen eine gute halbrunde Kehle und streicht gleichzeitig den überflüssigen Spachtel ab. Da die Größe und der Radius für das spätere Erscheinungsbild sehr wichtig sind, sollte man zunächst einige Versuche unternehmen. Mit diesem Spachtelhölzchen kann man nun unterschiedlich flache oder runde Kehlen ziehen, je nachdem wie man ihn hält. Bei einem Winkel von etwa 10° wird die Kehle z.B. flacher; je steiler man ihn führt, desto stärker wird auch die Rundung.

Ein erfahrener Handwerker kann eine perfekte Spachtelkehle in nur einem Arbeitsgang herstellen. Es ist allerdings nicht ungewöhnlich, daß man mehrfach nacharbeiten muß, damit die Spachtelkehle die gewünschte Glätte erhält. Auf jeden Fall muß man beim letzten Nachziehen mit dem Hölzchen mit einigem Druck arbeiten, damit das überschüssige Material seitlich weggequetscht wird. Nur so bildet sich zwischen Spachtelkehle und überschüssigem Material eine Fuge, so daß sich die Spachtelmasse leicht entfernen läßt. Abb.19 zeigt ein solches Werkzeug, mit dem sich besonders glatte Spachtelkehlen herstellen lassen.

Das Säubern beginnt mit dem sorgfältigen Entfernen des überschüssigen Materials. Dazu nimmt man am besten ein etwa 25 mm breites Spachtelmesser oder ein angeschärftes Stück Holz etwa der gleichen Breite und streicht die Spachtelmasse in einen Papierbecher ab. Dieser Arbeitsgang wird so lange wiederholt, wie noch überschüssiges Material auf dem Holz vorhanden ist.

Wenn die Spachtelmasse zu härten beginnt (zwischen 30 Minuten und 2 Stunden je nach Spachtelmenge und Temperatur), kann man die Oberfläche der Spachtelkehle noch weiter glätten, indem man mehrfach mit dem gerundeten Stöckchen darüberfährt. Auf diese Weise lassen sich rauhe Oberflächen glätten, besonders wenn man das im richtigen Moment tut, d.h. wenn das Harz weder zu weich noch schon zu sehr angehärtet ist. Das spart später viel Zeit beim Schleifen.

Nach der vollen Aushärtung kann die Kehle natürlich noch weiter geschliffen werden, aber das ist eine recht aufwendige Arbeit, besonders wenn man den hochdichten Füller 406 benutzt hat. Glücklicherweise braucht man bei einer sauberen Spachtelkehle nicht sehr viel nachzuarbeiten. Wir benutzen üblicherweise 80er Schleifpapier, wobei man darauf achten muß, daß man nicht in das Holz hineinschleift. Ist die Spachtelkehle fertig, überziehen wir sie mit einem Anstrich aus Standardharz. Man kann dass aber auch später in einem Arbeitsgang machen, wenn man alle Bauteile mit der ersten Beschichtung versieht.

Kapitel 10

Das Schäften

Es ist recht schwierig, Massivholz und auch Sperrholz in den richtigen Abmessungen für den Bootsbau zu kaufen. Wenn wir einmal Holz finden, daß für unsere Zwecke lang genug ist, dann ist es üblicherweise zu teuer, um den Kauf in Erwägung zu ziehen. Das Ergebnis hiervon ist, daß wir unsere eigenen Schäftungsverfahren entwickelt haben, und wir benutzen sie, um Bretter, Planken, Sperrhölzer und Furniere entsprechender Größe herzustellen, indem wir kleinere Teile hierfür verwenden.

Das Schäften ist eine der wichtigsten Grundfertigkeiten im Bootsbau. Eine gut gearbeitete Schäftung, mit WEST SYSTEM Epoxid verklebt, kann so fest und stark sein wie das Grundmaterial selbst. Ganz gleich, um was für ein Holzteil es sich handelt, es läßt sich in der gewünschten Länge ohne jede Aufdickung an der Verbindungsstelle herstellen. Dem Schäften ein ganzes Kapitel dieses Buches zu widmen, scheint nicht angebracht zu sein, aber wir werden laufend hiernach gefragt und wollen es daher auch ausführlich erklären.

Obwohl es verschiedene Methoden der Schäftung gibt, benutzen wir nur eine, nämlich die einfachste und verläßlichste. Die beiden zu verbindenden Teile erhalten identische Schäftungen, wir legen diese aufeinander und verkleben sie mit Epoxidharz. Für viele Anwendungsbereiche benutzen wir hierzu eine Schäftung von 8:1, so daß Bretter von 25 mm Dicke auf einer Länge von 200 mm miteinander verbunden werden. Bei hochfesten Hölzern, die außerdem noch stark belastet werden, wie z.B. Masten, kann eine Schäftung von 12:1 wünschenswert sein. Wir empfehlen für alle stark belasteten Bauteile diese 12:1 Schäftung.

Die Hauptaufgabe der angeschrägten Enden besteht darin, eine ausreichend große Oberfläche für die Verklebung zu bieten, so daß die Festigkeit des Holzes selbst hiervon übertroffen wird. Wenn es Zweifel darüber gibt, welche Schäftung benötigt wird, kann man zunächst einen kleinen Versuch machen. Ein Stück von 10 mm Dicke und 25 mm Breite ist ausreichend. Zunächst stellen wir die Schäftung 8:1 her und verbinden sie mit der Harzmischung. Nach dem Aushärten werden die Enden unterstützt (natürlich außerhalb des Schäftungsbereichs) und das Prüfstück wird in der Mitte belastet, bis es zum Bruch kommt. Wenn dieser Bruch innerhalb der Schäftung oder in der Klebefläche selbst liegt, muß die Schäftung vergrößert werden.

Die Richtung der Belastung in bezug auf die Schäftung ist von untergeordneter Bedeutung im Vergleich zu der Oberfläche der Klebeverbindung. Die größte Oberfläche mit dem geringsten Materialverlust sollte das Ziel sein. Für ein Kantholz z.B. von 50 x 100 mm wird man also die Schäftung auf der flachen Seite aufbringen.

Obwohl das Schäften von Massiv- und Sperrholz im Grundsatz das gleiche ist, unterscheiden sich die Verfahren doch. In diesem Kapitel behandeln wir zunächst das Schäften von Kanthölzern und Planken und gehen dann auf Sperrhölzer über Furniere schäften wir nur sehr selten beim Bootsbau; wenn wir es aber doch einmal tun, dann benutzen wir die gleichen Verfahren.

Das Schäften von Massivholz

Das Anschäften mit der Hand: Abhängig von Größe und Art des Holzes kann man verschiedene Werkzeuge benutzen, um das Holz anzuschäften. Andere Methoden sind sehr viel schneller, deshalb arbeiten wir eine Schäftung mit der Hand nur in den Fällen, wo die Abmessungen des Holzes sehr groß sind oder nur wenige Teile bearbeitet werden müssen.

Zunächst wird kontrolliert, daß die Enden der zu verbindenden Hölzer wirklich rechtwinklig gesägt sind. Dann werden die Kanten der späteren Schräge genau aufgerissen. Die Maße werden dabei von dem Ende des rechtwinkligen Holzes abgesetzt und diagonal miteinander verbunden. Die Schäftung ist damit festgelegt.

Nun wird zunächst das überschüssige Holz grob entfernt und zwar so dicht an die angezeichnete Schäftungskante wie möglich. Es gibt hierzu verschiedene Methoden: Einmal mit einer scharfen Handsäge, mit der man so dicht an die Linien heransägt wie möglich; man kann aber auch mit dem Stecheisen und Schlegel arbeiten, oder auch mit einer Hobelmaschine. Ist das Ende nun grob ange-

schrägt, benutzt man für die Feinarbeiten einen Schlichthobel, um sich der genauen Kante zu nähern.

Zu diesem Zeitpunkt muß man das Holz umspannen, und zwar so, daß das scharf auslaufende Ende des Holzes genau mit der Kante des darundergelegten Holzklotzes abschließt. Während dieser Feinarbeit muß außerdem die Fläche laufend kontrolliert werden. Gleichzeitig bleibt das scharf auslaufende Ende so erhalten. Ist die Schäftung nun fertig, wird die Oberfläche in Längs- und Querrichtung noch einmal auf Ebenheit geprüft (wir machen das einfach, indem wir die Kante des Hobels auflegen), so daß man sicher sein kann, daß die angeschäfteten Enden später gut aufeinander liegen.

Die Schäftungsvorrichtung: Um Zeit zu sparen, kann man sich sehr leicht eine Schäftungsvorrichtung bauen, um wiederholt Massivhölzer im gleichen Winkel anzuschärfen. Der Standardtyp unserer Vorrichtung ist in Abb.1 zu sehen und funktioniert ebenso wie eine normale Gehrungslade. Eine typische Gehrungslade ist nur sinnvoll, wenn man sehr düne Planken, z.B. für ein leistengeplanktes Kanu braucht. Mit der Schäftungsvorrichtung kann man dagegen auch die flachen Winkel herstellen, die man für Schäftungen von 8:1, bzw. 12:1 braucht.

Die Abmessungen der Vorrichtung bestimmen sich aus der Größe der Massivhölzer, die man anschäften möchte. Wir können also recht unterschiedliche Abmessungen verarbeiten. Die Vorrichtung besteht im wesentlichen aus einer flachen Grundplatte, auf die 2 Seitenbretter aufgebracht werden, wobei man darauf achten muß, daß die Vorrichtung lang genug wird, um das Holz gut zu führen. Nun wird an einem der Seitenteile innen ein schräger Einschnitt gemacht, der später den Anpreßkeil aufnehmen soll. Als nächstes wird der Schäftungswinkel festgelegt und auf der Vorrichtung markiert, wobei man sehr sorgfältig vorgehen sollte, so daß der Sägeschnitt wirklich senkrecht zur Basis liegt. Dieser Schnitt sollte mit einer Kreissäge oder Plattensäge ausgeführt werden. Dieser erste Schnitt ist wirklich äußerst kritisch, denn er bestimmt, wie gut später die Teile aufeinander passen. Um das zu prüfen, muß man mehrere Probestücke herstellen und miteinander verbinden. Ergeben sich hierbei keine Unstimmigkeiten, kann man nun Schäftungen herstellen, indem man Massivhölzer in die Vorrichtung einspannt und mit einer Säge in der gewünschten Richtung anschärft. Es kann sinnvoll sein, die so geschnittenen Flächen noch mit einem Schlichthobel nachzuarbeiten.

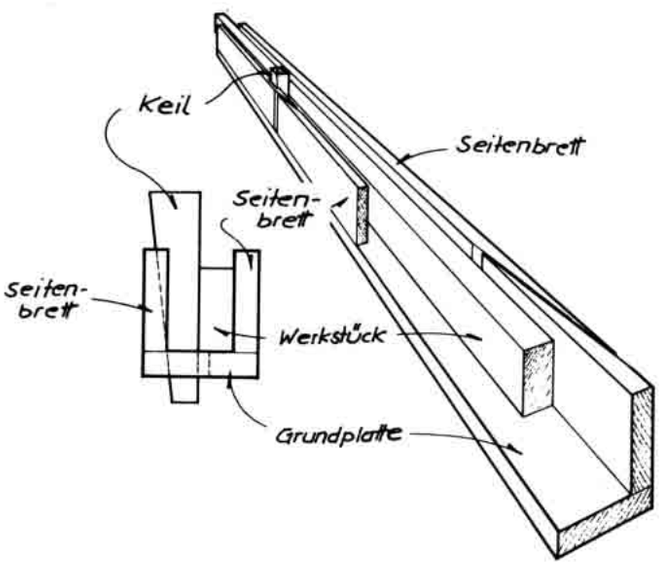


Bild 10.1 – Schäftungsvorrichtung.

Man kann die Vorrichtung natürlich auch auf den Tisch einer Bügelsäge spannen. Die Vorrichtung wird dabei entsprechend dem späteren Sägeverlauf schräg aufgespannt. Obwohl dies mehr Vorbereitung erfordert, zahlt es sich bei der Geschwindigkeit, mit der man später die Schäftungen sägt, aus. Auf diese Weise lassen sich bis zu 100 korrekte Anschäftungen pro Stunde erreichen, wenn die Arbeitsvorbereitung entsprechend gut ist.

Die Fräsennethode: Eine weitere Methode, Schäftungen herzustellen, besteht in der Benutzung eines Fräsers in Verbindung mit einer Führungsvorrichtung. Der Vorteil gegenüber der beschriebenen

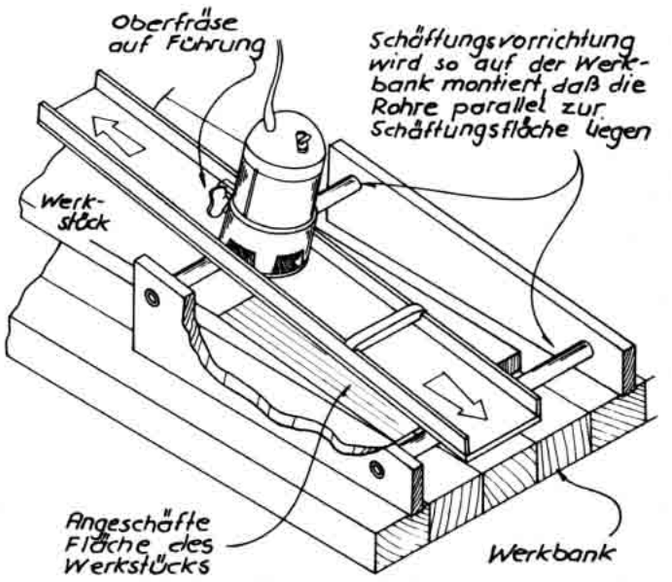


Bild 10.2 -Schäftungsvorrichtung für Oberfräse.

Schäftungslade besteht darin, daß man Material größerer Abmessungen verarbeiten kann. Der Nachteil liegt eigentlich nur darin begründet, daß die Führungsvorrichtung in ihrer Herstellung sehr viel mehr Zeit benötigt, und außerdem ist sie nicht tragbar, da sie auf einer flachen Grundplatte montiert werden muß, wenn sie vernünftig funktionieren soll. Üblicherweise wird sie am Ende einer langen, geraden Werkbank befestigt und dann benutzt, wenn man Schäftungen vornehmen möchte. Abb. 2 zeigt die wesentlichen Bauteile dieser Führungsvorrichtung und wie sie zusammengebaut ist. Es gibt mehrer Varianten dieses Grundtyps, aber das Prinzip, wie diese Oberfräse über das Holz geführt wird, ist immer das gleiche. Die Fräse wird dazu quer zum Holz geführt, je nach Größe des Fräskopfes und Leistung der Maschine. Mit einem scharfen Fräskopf und einer guten Führung kann man sehr glatte und ebene Schäftungen herstellen. Statt einer Oberfräse kann man auch eine elektrische Hobelmaschine benutzen.

Die Verbindung der geschäfteten Enden: Eine Schäftung ist immer nur so stark wie die Verbindung der beiden aufeinanderliegenden Flächen. Der Verbund und die mechanische Festigkeit des Klebers sind daher von ausschlaggebender Bedeutung. Über einen langen Zeitraum haben sich WEST SYSTEM Klebermischungen für diese Arbeiten bewährt und bewiesen, daß man mit ihnen sehr feste Schäftungen erzielen kann, wenn die Verarbeitungs hinweise befolgt werden.

Die Güte der Passung zwischen den beiden Oberflächen ist der zweite wichtige Faktor einer erfolgreichen Schäftung. Obwohl es möglich ist, kleine Unregelmäßigkeiten mit einem angedickten, fugenfüllenden Harz auszugleichen, ist es doch besser, die Oberflächen so lange zu bearbeiten, bis die Passung richtig ist. Um das zu prüfen, werden die Seiten zunächst ohne Kleber aufeinander gepreßt. Fugen lassen sich so sehr leicht erkennen. Auch wenn die Schrägungen wirklich gleich sind, sollte man die Fuge doch im Gegenlicht betrachten, um festzustellen, ob auch keine Rundungen auf der Fläche vorhanden sind. Ist die Schäftung zur Zufriedenheit ausgefallen, kann nun das Verkleben der Teile beginnen.

Bild 10.3 – Auftragen des Klebers auf die angeschrägte Fläche.

Beim Verbinden von geschäfteten Hölzern gibt es eine grundsätzliche Schwierigkeit. Meistens wird Holz seitlich miteinander verbunden, also längs der Faserrichtung, d.h. die Zellen sind mehr oder weniger intakt und das Harz kann nicht tief ins Holz eindringen. Hirnholz dagegen kann den Kleber sehr stark aufsaugen. Diese Durchdringung des Holzes durch den Kleber macht die Verbindung allerdings fester. Dagegen steht nun wieder, daß ein zu tiefes Eindringen zu Verbundproblemen führen kann, wenn zuviel Harz aufgesogen wird, so daß an der eigentlichen Klebestelle keine ausreichende Menge mehr vorhanden ist. Dann entstehen Hohlräume zwischen diesen geschäfteten Oberflächen und die Festigkeitsbrücke ist nicht mehr völlig intakt. Wenn man dies Problem durchdacht hat, kann man allerdings auch die entsprechenden Gegenmaßnahmen treffen.

Es gibt verschiedene Arten, Epoxidharz auf die geschäfteten Enden aufzutragen. Die hier vorgestellte Methode hilft nicht nur, kleine Unebenheiten auszufüllen, sondern verringert auch die Gefahr, daß zuviel Harz von den angeschnittenen Holzenden aufgesogen wird.

Um die Schäftung herzustellen, mischt man zunächst einen Becher mit WEST SYSTEM Epoxid und trägt dies ohne jeden Füllstoff auf beide Enden auf. Man läßt das Harz nun etwa 5 Minuten lang einziehen und gibt dann der Harzmischung im Becher Quarzmehl oder einen hochdichten Füller bei. Die Konsistenz dieser Mischung hängt von der Güte der zu verleimenden Flächen ab. Von dieser Mischung wird nun eine ausreichende Menge auf die Oberflächen aufgetragen. Der erste Anstrich wird mit Sicherheit vom Holz aufgesogen, der zweite dagegen wird im wesentlichen auf der Oberfläche stehen bleiben und auch kleine Unebenheiten überbrücken.

Das Anpressen von Schäftungen: Um präzise Schäftungen herzustellen, braucht man eine lange, gerade Oberfläche, z.B. eine Werkbank oder auch den Fußboden, auf dem die geschäfteten Enden zusammengefügt werden können. Nachdem die

Harzmischung aufgetragen worden ist, werden die beiden Holzteile langsam aufeinandergelegt und nur mit der Hand angedrückt. Dann wird der Druck verstärkt, um überschüssiges Harz herauszupressen. Es ist unbedingt notwendig, darauf zu achten, daß die Teile absolut gerade liegen, aber sich fest aufeinanderdrücken, so daß weder ein Über- noch ein Untermaß entsteht (siehe Abb.4). Die Glätte der neuen Oberfläche kann am einfachsten mit der Hand geprüft werden, oder natürlich mit Richtscheit oder Wasserwaage. Wenn die Schäftung paßt, werden die Teile mit Heftklammern in ihrer Position arretiert, das Holz wird umgedreht, noch einmal ausgerichtet und auf der anderen Seite ebenfalls mit Heftklammern verbunden. Diese nur vorübergehenden Befestigungen sollen die geschäfteten Enden in ihrer gewünschten Lage halten, bis der eigentliche Anpreßdruck erfolgen kann.

Es ist wichtig, daß die geschäftete Stelle fest zusammengepreßt wird, so daß die Oberflächen einen guten Kontakt erhalten. Zuviel Anpreßdruck wird aber nicht benötigt und ist außerdem schädlich, da die Verbindung hierdurch vorgespannt wird. Bevor der Anpreßdruck aufgebracht wird, sollte auch alles überschüssige Harz entfernt werden, das an den Seiten herausgequollen ist. Dann wird die geschäftete Stelle mit einer Polyäthylenfolie umwickelt, um ein Verkleben mit der Unterlage zu vermeiden. Der Anpreßdruck kann mit jeder erwünschten Menge Schraubzwingen erzeugt werden; oder man benutzt einfach Keile, um die gesamte Oberfläche gleichmäßig mit Druck zu beaufschlagen. Wir benutzen öfter Holzabschnitte zwischen Schraubzwinge und Holz, um den Zwingendruck auf eine größere Oberfläche zu verteilen und Markierungen der Schraubzwingen zu vermeiden.

Wenn Planken, Stringer oder andere aussteifende Teile für ein Modell oder einen Rumpf hergestellt werden, ist das mit vielen Schäftungen verbunden. Genau wie wir für das Anschärfen der Enden rationellere Methoden entwickelt haben, ist auch unsere Herstellung von Schäftungen entsprechend rationell. Wenn wir eine größere Anzahl gleich großer Hölzer verbinden müssen, bereiten wir die Teile vor und legen sie nebeneinander auf, bringen das Harz auf die zu schäftende Stelle und pressen sie in einem Arbeitsgang an. Wieviele Schäftungen man gleichzeitig bearbeiten kann, wird eigentlich nur von der Topfzeit des Harzes und davon bestimmt, wieviele Zwingen oder Spannvorrichtungen einem zur Verfügung stehen. Obwohl wir bis zu 20 Schäftungen gleichzeitig bearbeitet haben, braucht man doch schon sehr viel Übung und Sorgfalt, um so viele Teile akkurat aufeinander zu bringen.

Diese „Serienproduktion“ muß gut organisiert werden, und man braucht hierzu wenigstens zwei Leute. Zunächst werden die Hölzer sortiert und nebeneinander ausgebreitet, wobei die Oberflächen jeweils nach oben zeigen. Da die Hölzer, die man beim Bootsbau braucht, nicht alle gleich lang sind, muß das bereits in diesem Zustand geplant sein.

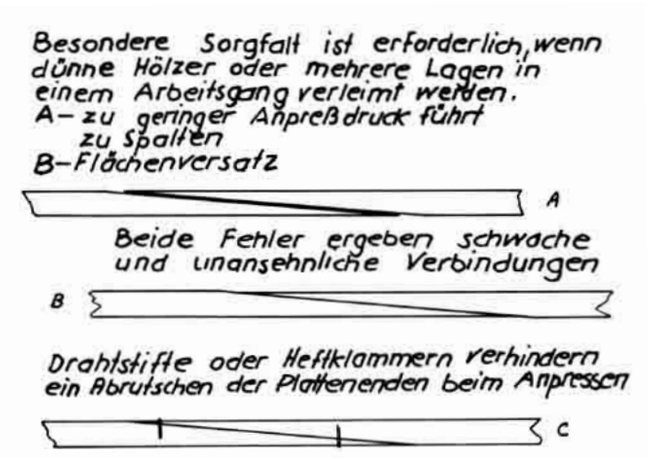

Besondere Sorgfalt ist erforderlich, wenn dünne Hölzer oder mehrere Lagen in einem Arbeitsgang verleimt werden.
A – zu geringer Anpreßdruck führt zu Spalten
B – Flächenversatz
A
Beide Fehler ergeben schwache und unansehnliche Verbindungen
B
Drahtstifte oder Heftklammern verhindern ein Abrutschen der Plattenenden beim Anpressen
C

Bild 10.4 – Hinweise für eine einwandfreie Schäftung.

Bild 10.5 – An beiden Enden angeschrägte Stringer werden zum Verleimen und Zusammenpressen vorbereitet. Die Längen sind so zusammengestellt, daß die Schäftungen dicht beieinander liegen, um Schraubzwingen zu sparen.

Liegen nun alle Teile nebeneinander, muß die Fläche vorbereitet werden, auf der später die Teile zusammengepreßt werden sollen. Auch die Klammerpistole (bevorzugt 9 mm Klammern mit breitem Rücken) sollte griffbereit liegen. Auf dem Boden wird nun Wachspapier oder Polyäthylenfolie ausgebreitet, um ein Verkleben mit der Unterlage zu verhindern. Dann wird die Mischung angerührt und auf alle Flächen aufgetragen, wie bereits beschrieben.

Man beginnt nun, die beiden Hölzer in der beschriebenen Weise auf der Anpreßfläche aufeinanderzulegen. Wenn die Heftklammern angebracht sind, wird das Werkstück auf die Kante gelegt und mit einem Stück Wachspapier oder Folie ummantelt. Damit ist sichergestellt, daß das nächste Holz nicht anklebt, wenn es daneben aufgerichtet wird. Die Folie oder das Wachspapier wird nun jeweils ziehharmonikaförmig über oder unter die Hölzer gebracht, so daß alle Holzteile voneinander getrennt sind.

Wenn nun alle Bauteile auf diese Weise verbunden sind und nebeneinander liegen, so daß die Schäftungsflächen senkrecht stehen, wird auf jeder Seite ein Kantholz dagegen gelegt. Diese Hölzer dienen zum Verteilen des Anpreßdrucks durch die Schraubzwingen. Zunächst werden die äußeren Schraubzwingen aufgebracht, damit die geschäfteten Flächen nicht voneinander abrutschen. Man braucht eine ganze Reihe von Zwingen, um einen ausreichenden Druck zu erzeugen. Bei dieser Arbeitsweise müssen die Schraubzwingen hin und wieder nachgesetzt werden, da Harz aus den Fugen herausquillt.

Das Nacharbeiten der Schäftungen: Eine geschäftete Verbindung ist fast fertig, wenn der Kleber ausgehärtet ist. Der letzte Arbeitsgang beim Schäften besteht immer aus dem Glätten und Säubern der Stellen. Überschüssiges Harz dringt unausweichlich aus den Verbindungen heraus und muß entfernt werden. Wenn eine Schäftung nicht ganz genau ausgerichtet ist, muß das Holz in seiner ganzen Länge noch einmal nachgearbeitet werden. Wir empfehlen, diese Prüfung schon dann vorzunehmen, wenn das Harz noch nicht vollständig ausgehärtet ist – 5 bis 8 Stunden nach dem Auftragen des Harzes sollte die Verbindung so fest sein, daß man die Schraubzwingen entfernen kann, da sich in diesem Zustand das Harz leichter schleifen und hobeln läßt. Nach 5 bis 7 Tagen ist diese Arbeit schon sehr viel aufwendiger.

Die für das Ausrichten eingeschossenen Klammern werden natürlich entfernt, bevor man mit dem Schleifen beginnt. Handhobelmaschinen sind das für die Nacharbeit von Schäftungen am häufigsten benutzte Werkzeug. Wenn man 2 Maschinen zur Verfügung hat, kann man die Hobelmesser entsprechend einstellen. Bei der einen Maschine werden sie auf einen sehr feinen Schnitt justiert, um eine gute Oberfläche zu erhalten. Dann sollte man mit einem etwa 300 mm langen Schleifklotz und 60er/ Papier die Flächen nacharbeiten, um die Spuren der Hobelmesser zu beseitigen.

Das Schäften von Sperrholzplatten

Zwischen dem Schäften von Massivholz und dem von Sperrholzplatten besteht ein großer Unterschied. Zunächst einmal sind da die Abmessungen: Eine 150 bis 200 mm breite Schäftung an einem Massivholz wird als groß angesehen, aber eine Schäftung von 1 bis 2,5 m Länge bei Sperrholz ist ganz normal. Sperrholz ist außerdem normalerweise sehr viel dünner als Massivholz, also sind auch die Schäftungsflächen kürzer. Ein weiterer Unterschied besteht darin, daß beim Massivholz die Schäftungen nur Hirnholzflächen aufweisen, während beim Sperrholz Hirnholz und längsgeschnittenes Holz in Schichten übereinanderliegt. Da Sperrholz sich also von Massivholz erheblich unterscheidet, sind auch die Verfahren zum Schäften ganz wesentlich andere.

Sperrholz gehört zu den Standard-Baumaterialien im modernen Bootsbau, deshalb kommt einer festen geschäfteten Verbindung auch eine große Bedeutung zu. Bei den meisten Bootsbauverfahren wird soviel Sperrholz benutzt, daß das Schäften eine Menge Arbeitszeit in Anspruch nimmt, im

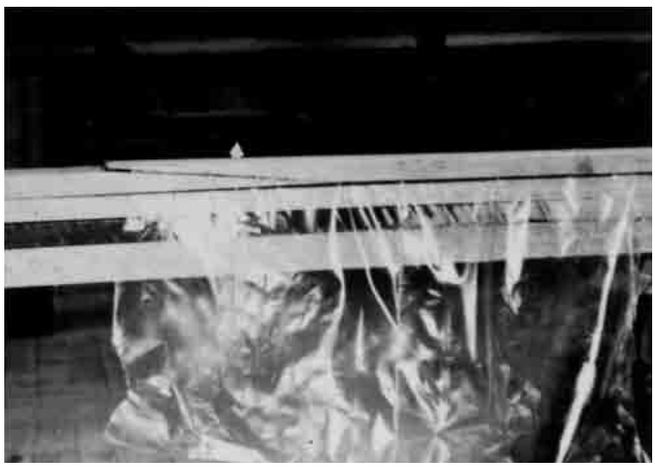


Bild 10.6 – Eine Plastikfolie wird ziehhannonikaförmig um die Stringer gelegt, damit diese beim Pressen nicht verkleben. Vorsicht, damit die Folie nicht zwischen die Schäftungen gerät, da dieses die Verbindung schwächt.

Vergleich zum gesamten Bootsbau. Wir haben uns mit dem Problem schon sehr früh auseinandergesetzt und eine Führung entwickelt, mit der wir auf einer Tischkreissäge wirklich gute Schäftungen an Sperrholzkanten in sehr kurzer Zeit herstellen konnten. Die einzige Schwierigkeit bestand darin, daß diese Vorrichtung immner wieder entfernt werden mußte, weil wir die Säge auch für andere Zwecke brauchten. Die Zeit, die wir hierfür benötigten, betrug wenigstens 20 Minuten, so daß sich diese Arbeit nur dann lohnte, wenn wir größere Mengen Sperrholz zu schäften hatten. Für einige wenige Bauteile schäften wir also die Sperrholzplatten per Hand.

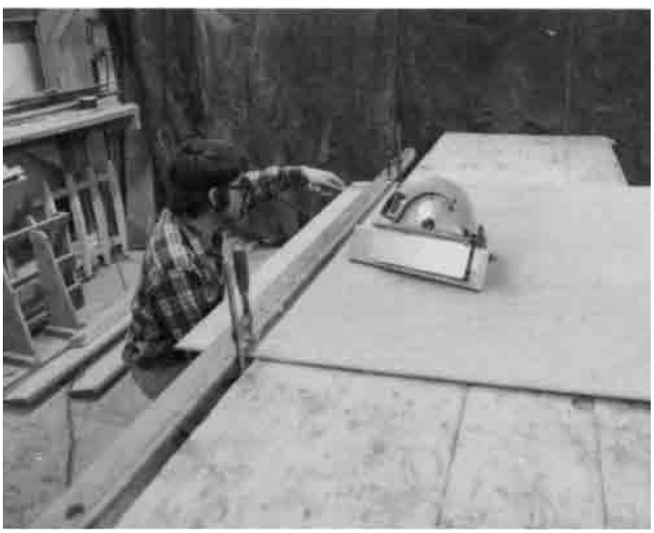


Bild 10.7 – Anbringen eines Richtscheits zur Führung des Schäftungsansatzes.

Der Schäftungsansatz: Um diese Schwierigkeit auszuräumen, haben wir dieses Zusatzgerät der Tischkreissäge modifiziert, so daß es an eine Handkreissäge paßt. Es kann nun immer an der Säge befestigt bleiben, ist jederzeit fertig zum Gebrauch, ohne daß irgendwelche Rüstzeiten notwendig sind. Die Kosten hierfür sind so niedrig, daß wir es durchaus vertreten konnten, hierfür extra eine Säge bereitzuhalten. Da es sich für diese Arbeiten als so nützlich herausgestellt hat, haben wir das Gerät in die Palette unserer WEST SYSTEM Produkte aufgenommen.

Dieser Schäftungsansatz (SCARFFER), wie in Abb.7 – 9 dargestellt, ist billig und kann an den meisten Handkreissägen mit einem Blattdurchmesser von 185 mm befestigt werden. Dazu wird eine Betriebsanleitung geliefert, die schrittweise den Aufbau und das Anbringen erklärt. Dieses Zusatzgerät eignet sich besonders für Sperrholz bis 8 mm Stärke, und bei einer leichten Nacharbeit per Hand ist es auch für Hölzer bis 12,5 mm Dicke brauchbar. Wir sind der Meinung, daß sich die Anschaffung sehr schnell durch Arbeitszeitersparnis auszahlt, sogar bei kleineren Booten. Schäftungen, die mit diesem Gerät hergestellt werden, sind präziser als die mit der Hand gearbeiteten, besonders dann, wenn man nicht sehr viel Erfahrung mit dieser Arbeit hat.

Schäftungen von Hand: Eine Grundvorraussetzung für Schäftungen, die man mit der Hand herstellt, ist ein planer Tisch oder eine Werkbank von ausreichender Größe und mit einer Kante, die die Sperrholzplatte beim Schäften unterstützt. Das Sperrholz wird nun so aufgespannt, daß seine Kante mit der des Tisches oder der Werkbank übereinstimmt. Nun wird die Kante der Schäftung parallel aufgerissen, wie auch beim Massivholz. Die normale Schäftung beträgt 8:1; bei einer 6 mm Sperrholzplatte ist das etwa ein Maß von 50 mm. Wegen der Plattenlänge, und weil Sperrholzplatten üblicherweise eine wirklich gerade Kante haben, benutzen wir für das Übertragen ein Streichmaß.

Die Werkzeuge, die man für eine Handschäftung braucht, sind zunächst ein Schrupphobel und ein Schlichthobel. Die Benutzung einer Hobelmaschine kann sehr viel Zeit sparen, wenn man sie für das Abtragen der größten Holzmenge benutzt. Aber ohne diesen Luxus tut es auch eine Rauhbank mit einem tiefgesetzten Hobelmesser, um den größten Teil des Holzes schnell zu entfernen. Dann muß man allerdings einen fein eingestellten Schlichthobel benutzen, um sich bis an das gen aue Maß herunterzuarbeiten. Es ist unbedingt notwendig, daß die Fläche eben bleibt, also müssen auch die Hobelmesser scharf sein. Bedingt durch die unterschiedliche Faserrichtung würde sonst der Schnitt nicht einwandfrei werden und die Oberfläche bleibt uneben. Es ist unausweichlich, daß man nachschleift, aber ebenfalls mit der entsprechenden Vorsicht, da wiederum die unterschiedlich verlaufenden Holzfasern einen ungleichmäßigen Abtrag bedeuten. Beim Hobeln lautet also die Grundforderung: die Messer immer scharf halten. Die Hobelmesser werden beim Bearbeiten von Sperrholz sehr schnell stumpf, besonders durch den Leim zwischen den einzelnen Schichten. Diese Schichten sind allerdings auch ein guter Anhalt dafür, ob die Schäftung wirklich eben und plan vorgenommen wird. Diese Leimfugen sehen sonst krumm aus, bieten also einen guten Anhalt für die saubere Arbeit.

Das Schäften per Hand kann sehr ermüdend und schwierig sein, aber, wie bei vielen Arbeiten im

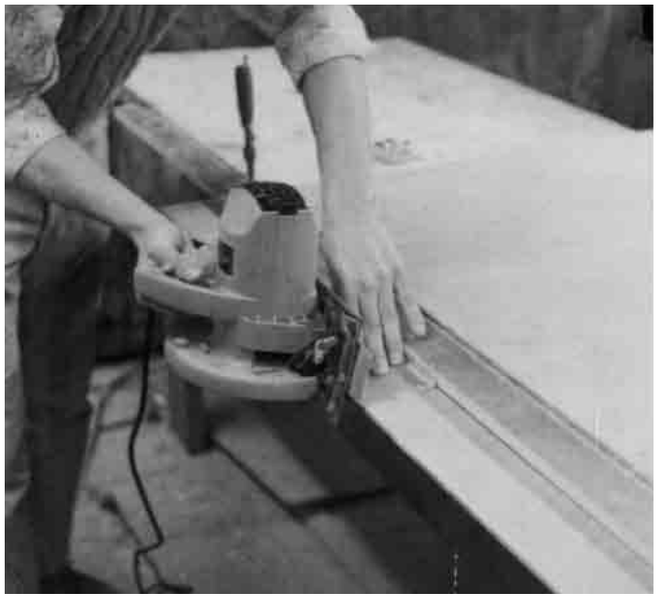


Bild 10.8 – Das Führen der Säge mit Schäftungsansatz entlang des Richtscheits.

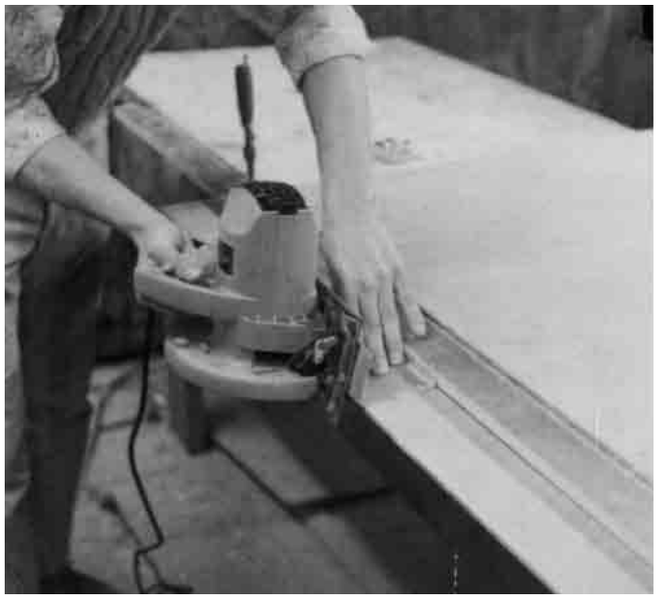


Bild 10.9 – Sperrholzplatte mit angeschärfter Kante, hergestellt mit Handkreissäge und Schäftungsansatz.

Bootsbau, erfordert es nun einmal handwerkliche Fertigkeiten, und die Qualität der Arbeit und die Geschwindigkeit werden mit der Übung wachsen. Wer noch nie mit der Hand geschäftet hat, sollte es zunächst an einem Probestück üben. Manchmal mißraten diese Sperrholzschäftungen so, daß sie nicht mehr ausgebessert werden können, aber dieser Fehler bedeutet noch lange nicht, daß die Arbeit fehlgeschlagen ist. Man muß einfach eine neue Schäftungslinie auftragen und den ganzen Arbeitsgang wiederholen.

Beim Schäften von Sperrholz per Hand kann man sehr viel Zeit sparen, indem man mehrere Lagen übereinanderlegt und gleichzeitig bearbeitet. Wenn man z.B. vier 6 mm dicke Platten bearbeiten will, kann man das in einem Arbeitsgang tun. Hierzu werden wieder etwa 50 mm von der Kante entfernt die Markierungen aufgebracht, was wiederum der Schäftung von 8:1 entspricht. Danach werden alle vier Platten an diesen Kanten abgetreppt übereinandergelegt. Die unterste Sperrholzplatte liegt dabei genau auf der Kante der Arbeitsplatte. Die Platten werden in dieser Lage mit Schraubzwingen befestigt und die Schäftungen vorgenommen, wie bereits beschrieben (siehe Abb.13). Wie man seine Schäftungen auch immer vornimmt – eines sollte man beachten, wenn das Boot naturfarben lackiert werden soll: Es ist nicht ungewöhnlich, daß bei den Sperrholzplatten die eine Seite besser ist oder aussieht als die andere oder ein Furnier höherer Qualität aufweist. Man muß beim Schäften also darauf achten, daß sich später die guten Seiten wieder treffen.

Das Verkleben der Sperrholzschäftung: Sperrholzplatten, die mit dem Schäftungsansatz angeschärft worden sind, lassen sich erheblich schwieriger zu einer präzisen Schäftung zusammenfügen als Massivholz. Kanthölzer und Planken zu verbinden, kann man in sehr kurzer Zeit lernen und braucht dazu nicht mehr als ein gutes Gefühl und mehrere Schraubzwingen. Lange Sperrholzschäftungen sind dagegen recht anspruchsvoll und brauchen meistens ein sehr aufwendiges Anpreßsystem. Da die Möglichkeit eines Fehlers erheblich höher liegt, schlagen wir vor, nicht mehrere Teile gleichzeitig zu bearbeiten.

Bild 10.10 – Die Schäftung wird mit der Hobelmaschine geglättet.

Bild 10.11 – Herstellen der Schäftungen an schmalen Sperrholzstreifen mit der Hobelmaschine.

Um nun die Sperrholzschäftung für die Verklebung vorzubereiten, müssen die Schäftungen auf ihre Übereinstimmung hin geprüft werden. Dazu braucht man einen geraden Untergrund: entweder den Fußboden oder eine Werkbank, die groß genug ist, um beide Sperrholzplatten aufzunehmen. Außerdem benötigt man ein stählernes Richtscheit von etwa 30 cm Länge, um den Übergang der beiden Platten zu prüfen. Die Schrägungen werden nun übereinandergelegt und in kurzen Abständen mit der Hand zusammengedrückt und dabei auf Passung geprüft. Dann wird das Richtscheit über die Verbindung gelegt. Wenn die Schäftungen ohne Überlappung aufeinander liegen sollen, muß das Richtscheit beide Oberflächen berühren. Haben wir eine Überdeckung, dann hebt sich das Richtscheit von der angeschliffenen Kante ab. Es kann allerdings sinnvoll sein, eine ganz leichte Überdeckung zu erzeugen, dann werden die Platten etwas auseinandergezogen, bis das Richtscheit voll auf beiden Flächen aufliegt. Bei langen Schäftungen empfiehlt es sich, die Kanten zeitweilig mit Heftklammern zusammenzuhalten. Man beginnt also bei der einen Seite und richtet dann die zweite Kante aus. Wenn die Platten wirklich genau gearbeitet wurden, müssen die beiden Seiten sauber aufeinanderliegen. Sind die Platten nun ausgerichtet, werden wieder Stichmaße angezeichnet, so daß man sie nach dem Auftrag des Klebers paßgenau zusammenfügen kann. Diese Markierungen sollten etwa im Winkel von 45° zur Kante angebracht werden, und zwar jeweils eine Markierung an jedem Ende und dazwischen einige weitere, so viele man für nötig hält.

Das Auftragen des Klebers auf die angeschäfteten Plattenenden kann nach einer der Methoden vorgenommen werden, die für Massivholz beschrieben worden sind. Die Schäftungsenden von Massivholz weisen ausschließlich Hirnholz auf. Bei einer Sperrholzplatte sind aber wenigstens ein Drittel oder sogar bis zu zwei Drittel der Fläche Langholzfasern. Diese saugen nicht ebensoviel Harz auf wie es das Hirnholz tut; die Harzmenge liegt also niedriger und trotzdem wird der Verbund einwandfrei sein.

Das Anpressen der Sperrholzschäftung: Ein mögliches Problem bei Sperrholzschäftungen liegt darin, einen ausreichenden, gleichmäßigen Anpreßdruck zu erzeugen. Eine Grundvorraussetzung ist hierfür eine lange, plane Arbeitsfläche, die größer ist als der Schäftungsbereich selbst. Die Oberfläche, auf der gearbeitet wird, muß aus einem Material bestehen, in das man Heftklammern einschießen kann oder auch kleine Nägel. Wenn man auf dem Fußboden arbeiten muß oder die Arbeitsfläche sauber halten will, kann man auch zunächst 20 mm starkes Sperrholz auslegen, in das die Klammern geschossen werden. Die Fläche unter der Schäftung wird nun mit Wachspapier oder Folie abgedeckt. Dann wird der Kleber aufgebracht, die Schäftungsenden übereinandergelegt, die Enden der Platten mit Heftklammern befestigt und anschließend wieder ein Stück Folie oder Wachspapier über die Schäftung gelegt und mit einem Streifen Sperrholz überdeckt. Dieser Sperrholzstreifen sollte wenigtens

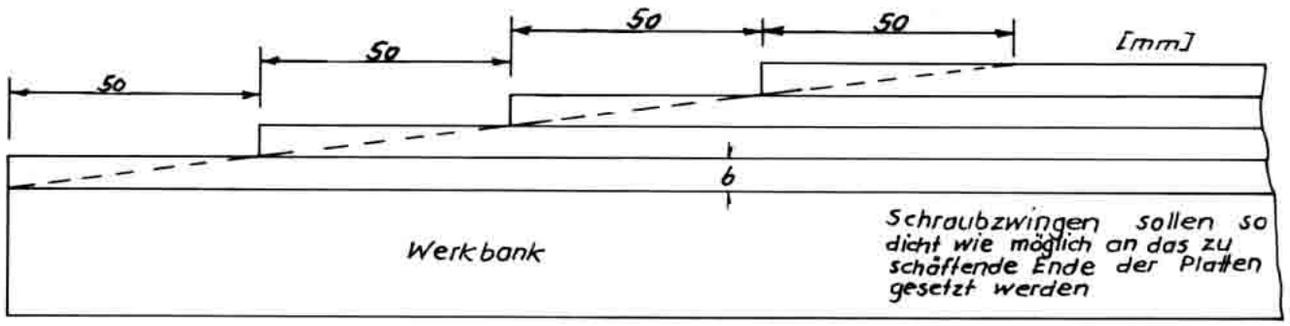


Bild 10.12 – Sperrholzplatten im Stapel, um Schäftungen in einem Arbeitsgang herzustellen.

Bild 10.13 – Schäftungen an einem Stapel Sperrholzplatten.

gleiche Dicke haben, wie das zu schäftende Material und sollte den Schäftungsbereich leicht überdecken. Nun wird eine ausreichende Anzahl Klammern durch diesen Streifen hindurch in die Platte geschossen, so daß die Schäftung fest aufeinander gepreßt wird.

Diese Methode funktioniert bei Platten bis zu 6 mm Dicke. Bei stärkeren sollte man Nägel benutzen. In diesem Fall verwenden wir sehr viel dickeres Sperrholz zum Anpressen, mitunter bis zu 20 mm Dicke, so daß man für den Anpreßdruck nur verhältnismäßig wenig Nägel benötigt. Ein gekrümmtes Stück Holz, das durch Schraubzwingen niedergehalten wird (siehe Abb.14), hilft ebenfalls, den Anpreßdruck gleichmäßig zu verteilen.

Da mitunter recht große Platten geschäftet werden müssen, ist es äußerst wichtig, die Verbindungsstellen vom überschüssigen Harz zu säubern, solange dies noch nicht voll ausgehärtet ist. Hierzu benutzt man die gleichen Werkzeuge und Arbeitsschritte wie beim Massivholz. Am einfachsten ist es, diese Arbeiten durchzuführen, solange das Holz noch auf der planen Unterlage liegt, besonders bei dünnerem Sperrholz.

Das Schäften am Boot

Beim Bootsbau kommt es vor, daß man sehr große Flächen schäften muß (z.B. ein gesamtes Deck), die man nicht als ein Bauteil installieren kann. Für diese Zwecke haben wir eine Technik entwickelt, um Sperrholzplatten direkt am Boot durch Schäftungen miteinander zu verbinden. Dies Verfahren bringt zwei zusätzliche Schwierigkeiten mit sich:

(1) Das Vermessen, Markieren und Anpassen der angeschäfteten Enden von zwei zu verbindenden Platten verlangt eine besonders sorgfältige Planung, wenn sich diese Schäftung über einen größeren Teil des Rumpfes erstreckt.

(2) Die beiden Sperrholzplatten erfordern ein dichteres Ansetzen der Schraubzwingen, da sie über eine gekrümmte Oberfläche gelegt werden. Der Grad der Krümmung bestimmt, wieviel Anpreßdruck notwendig ist, um die Schäftungen fest aufeinanderzupressen, weil das Sperrholz ja die Tendenz hat, sich wieder in eine gerade Fläche zurückzubiegen.

In den meisten Fällen ist es einfacher, die Schäftung dorthin zu legen, wo sie durch ein anderes Bauteil des Rumpfes unterstützt wird. Das kann ein Spant, ein Schott oder ein Stringer sein, die allerdings Abmessungen haben sollten, die ein Befestigen der Platten durch Heftklammern, Nägel oder Schrauben ausreichender Länge und Anzahl gewährleisten. Die Schäftung muß sehr sorgfältig geplant werden, so daß sie später mittig über diesem unterstützenden Bauteil liegt. Selbst bei sorgfältigem Ausmessen muß man möglicherweise etwas Sperrholz opfern, um die Schäftung an eine solche Stelle zu bringen, da das aussteifende Gerippe des Rumpfes ja bereits festliegt. Das Aufbringen des Anpreßdrucks geschieht in der normalen Art, allerdings wird man wohl erheblich mehr Anpreß druck aufwenden müssen, um die Schäftungen über die lange Fläche fest aufeinanderzupressen. Um diesen zusätzlichen Anpreßdruck zu erzeugen, können für die Montage weitere stählerne Schrauben mit großen Unterlegscheiben benutzt werden, die durch die geschäftete Fläche direkt in den Spant oder ein anderes Bauteil geschraubt werden. Das Schäften direkt am Boot ist ein übliches Verfahren für Rümpfe und Decks aus Sperrholzplatten. Kapitel 22 und 25 enthalten detailliertere Erklärungen über das Aufmessen und die eigentlichen Bauverfahren.

Schäften als Mittel der Holzerspamis

Früher war es nicht unüblich, daß beim Holzbootsbau etwa 40% des gekauften Holzes als Abfall zurückblieb. Diese Menge kann man erheblich verringern, wenn man das Schäften sinnvoll anwendet. Bedenkt man, daß größere Längen sowohl Sperrholz wie auch Massivhölzer mit nicht geringen Preisaufschlägen verkauft werden, versteht man leicht, daß man erhebliche Kosten sparen kann, wenn man kürzere Längen verwendet. Hochwertiges Sperrholz ist nicht nur teuer, sondern durch die begrenzten Abmessungen ist der Verschnitt erheblich. Ein typisches Beispiel ist die Verwendung von Sperrholzstreifen zum Aufplanken von Rümpfen.

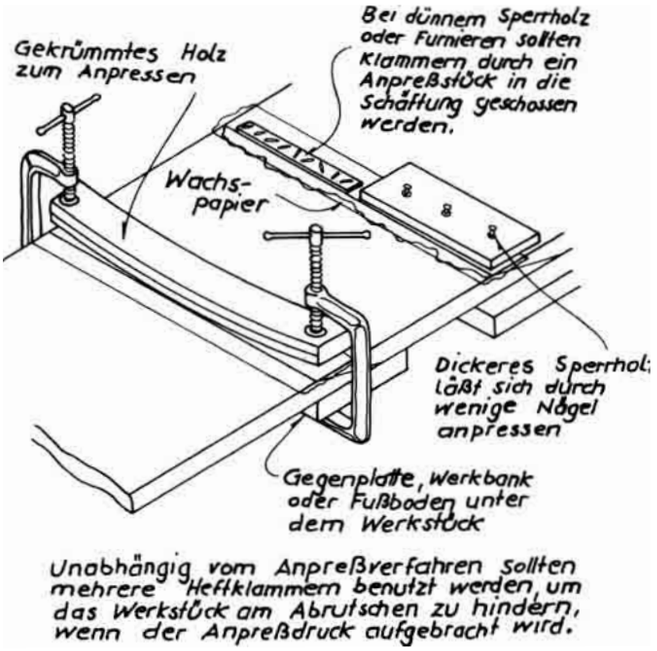

Gekrümmtes Holz zum Anpressen
Bei dünnem Sperrholz oder Furnieren sollten Klammern durch ein Anpreßstück in die Schäftung geschossen werden.
Wachs-papier
Dickeres Sperrholz läßt sich durch wenige Nägel anpressen
Gegenplatte, Werkbank oder Fußboden unter dem Werkstück
Unabhängig vom Anpreßverfahren sollten mehrere Heftklammern benutzt werden, um das Werkstück am Abrutschen zu hindern, wenn der Anpreßdruck aufgebracht wird.

Bild 10.14 – Verschiedene Verfahren zum Anpressen oder Sichern der Schäftungen während des Verleimens.

Bei einem größeren Boot braucht man Längen etwa zwischen 2,5 und 4,5 m Länge, je nach dem Bereich der Außenhaut. Bei dieser Längendifferenz muß notwendigerweise ein großer Verschnitt in Kauf genommen werden, ganz egal, wie sorgfältig man plant. Diesen „Abfall“ kann man allerdings auf etwa 5% verringern, indem man sehr lange Platten herstellt (so lang wie es die Arbeitsfläche erlaubt), aus denen man dann die gen au abgemessenen Einzellängen herausschneidet. Bei uns ist es nicht ungewöhnlich, bis zu 15 m lange Platten von etwa 300 mm Breite herzustellen, bei denen zum Schluß maximal 1 m Verschnitt übrigbleibt. Je kleiner diese Abfallstücke werden, desto geringeren Wert haben sie, da ihre Verwendung eben durch die Größe beschränkt wird. Stellt man aus diesen Abschnitten nun größere Platten her, so ist die Zeit, die man hierfür benötigt, gut investiert. Auch beim Anfertigen von Stringern, Planken, Balkwegern oder Kiel zahlt sich sorgfältige Planung aus. Man sollte jedes Bauteil im voraus auf seine Länge planen und dann versuchen, aus dem vorhandenen Material mit einigen Schäftungen die Länge herzustellen, die den geringsten Verschnitt verursacht. 5 m lange Planken lassen sich zu einer 9 m langen schäften; wenn nötig, kann eine 7 m lange aus $1^1/_2$ 5 m langen Planken hergestellt werden. Die andere Hälfte kann man dann wieder mit einer 4 m langen zusammensetzen U.S.W. Wenn man sich vor der Arbeit eine Liste über die benötigten Längen aufstellt, kann man sehr methodisch vorgehen und das vorhandene Material so gut wie irgend möglich nutzen. Erst dann sollte man die Planken zuschneiden, bei denen der Verschnitt höher ist, was an einigen Stellen allerdings unvermeidlich wird. Das Wesentliche dabei ist eben, daß man durch vorherige Planung das vorhandene Holz besonders effektiv nutzen kann.

Kapitel 11

Überzug und Endanstrich

In Kapitel 5 haben wir die Theorie über das Versiegeln von Holz mit WEST SYSTEM Epoxid erläutert. Hier wollen wir nun praktische Hinweise für das Auftragen von Harzüberzügen und Abschlußanstrichen der Holzoberfläche geben. Wir möchten, daß Bootsbau einfach bleibt. Deshalb bemühen wir uns in unserer Werkstatt ständig, die notwendigen Arbeiten so schnell und rationell wie möglich auszuführen. Leser früherer Auflagen dieses Buches werden bemerken, daß wir einige Techniken und Werkzeuge geändert und bessere Wege zur Lösung verschiedener Aufgaben gefunden haben.

Eine der besten Eigenschaften des WEST SYSTEM Harzes ist seine leichte Verarbeitung. Eine richtig beschichtete Holzoberfläche ist eine harte, widerstandsfähige, dauerhafte und der Feuchtigkeit widerstehende Grundlage für Anstriche und transparente Lackierungen. Eine besondere Vorbehandlung ist selten erforderlich, weil die meisten Lack-Systeme leicht auf harzbeschichtetem Holz halten. Da die Feuchtigkeit des Holzes unter der ersten Epoxidschicht unter Kontrolle ist, halten Farben und Lacke wesentlich länger.

Bei den meisten Lackierverfahren mit Rolle oder Pinsel sollte die Beschichtung normalerweise in der Reihenfolge ablaufen, wie sie in diesem Kapitel ausführlich beschrieben wird. Der Vorgang ist folgender:

- Harz-Grundanstrich so gleichmäßig wie möglich auftragen und trocknen lassen,
- Erhebungen, Fussel und sonstige Unebenheiten überschleifen,
- Unebenheiten verfüllen und eine zweite Harzschicht auftragen,
- in dieser Art fortfahren, bis so viele WEST SYSTEM Anstriche aufgetragen sind, wie man für notwendig hält und wie sie zur Vorbereitung der Oberfläche für den Schluß anstrich erforderlich sind. Zum Schutz gegen Feuchtigkeit sollten nach dem Schleifen und der Vorbereitung für den Endanstrich zwei Schichten Harz vorhanden sein.

Außer dieser Methode, mit Rolle und Pinsel zu arbeiten, gibt es noch eine andere Technik für das Beschichten, die etwas schneller vonstatten geht. Das sogenannte FLOCOATING. Diese Methode kann man jedoch nur auf ebenen oder fast ebenen Flächen anwenden. Das Verfahren wird ebenfalls in diesem Kapitel beschrieben. Es ist dort besonders praktisch, wo schnell eine sehr starke Epoxidschicht aufgebaut werden soll.

Bild 11.1 – Beschichten der Außenhaut einer Rennyacht der IOR Halbtonner-K1asse. Das Boot wird naturlackiert. Das Abstraken, Schleüen und Beschichten wurden vorgenommen, bevor das Boot vom Block abgehoben wurde.

Allgemeine Hinweise für die Beschichtung

Es gibt während des Bootsbaus immer wieder Gelegenheiten, bei denen man sinnvollerweise Bauteile mit WEST SYSTEM Epoxid streichen kann. Dafür gibt es keine festen Regeln; die Arbeiten am Boot können wie vorgesehen nach einem zweckmäßigen Zeitplan durchgeführt werden. Manchmal ist es vorteilhaft, mit dem Anstrich zu warten, bis der Rumpf in sich fertig ist; das gilt besonders für die Außenflächen. Üblicherweise spart man aber viel Zeit, wenn einzelne Teile, besonders die des Innenausbaus, vor der Montage gestrichen werden. Das Vorstreichen – wie wir dieses Verfahren bezeichnen – ist auf einer Arbeitsplatte sehr viel leichter als das Streichen und Schleifen in ungünstigen Stellungen im Boot selbst.

Bei der Planung des Anstrichs und der Lackierarbeiten sollte man versuchen, die Zeit so rationell wie möglich zu planen. Die abschließenden Feinar-

beiten und die Lackierung an einem Boot können einen überraschend großen Teil der Gesamtarbeitszeit ausmachen, wie selbst professionellen Bootsbauern oft schmerzhaft bewußt wird, und jede Überlegung in dieser Richtung zahlt sich aus. Man arbeitet schneller, wenn die Arbeit leichter von der Hand geht. Wenn man ein Kajütdach erst eingebaut hat und es danach schleifen und beschichten muß, stellt man fest, wie anstrengend die Arbeit sein kann, weil die Schwerkraft gegen einen ist. Das Harz tropft von der Überkopf-Fläche und kann dann Probleme bei der Säuberung bereiten. Wenn dagegen die gesamte Sperrholz-Oberfläche vor dem Einbau gestrichen und geschliffen ist, gewinnt man Zeit, erspart sich Ärger und die Arbeit wird fachgerechter.

Vor dem ersten Harzanstrich müssen alle Holzteile fertig bearbeitet und in ihre endgültige Form gebracht sein. Das Verformen und weitere Bearbeiten ist nach dem Epoxid-Auftrag wesentlich schwieriger, weil Epoxid-behandelte Flächen sehr viel härter sind als unbehandeltes Holz.

Die fertig bearbeiteten und verformten Hölzer müssen nun an der Oberfläche auf ihre Feuchtigkeit hin geprüft werden. Das Holz sollte so trocken sein, wie es die Luftfeuchtigkeit der Umgebung zuläßt – möglichst nicht mehr als 85% bei 21° C, so daß keine übermäßige Feuchtigkeit eingeschlossen wird. Da WEST SYSTEM Härter Wasser aufnehmen kann, beeinträchtigt eine zu hohe Feuchtigkeit die Aushärtung. Ist die Holzfeuchte höher als 12%, können Probleme beim Tränken mit Harz auftreten. Liegt der Feuchtigkeitswert im Bereich des Sättigungspunktes des Holzes, kann das Harz nicht tief genug eindringen, um die Festigkeit der Faser zu erhalten. Feuchtigkeitswerte unterhalb 12% beeinflussen die Harzaufnahme nur leicht, sofern nicht die Holzzellen durch zu starkes Trocknen im Ofen beschädigt wurden. Es ist aber immer noch besser, zu trockenes als zu feuchtes Holz zu verarbeiten.

Wenn Zweifel an der Feuchte eines dünnen Brettes oder einer dünnen Platte bestehen, kann man es mit 80er Schleifpapier anschleifen. Entsteht dabei kein Schleifstaub, ist das Holz auf jeden Fall zu naß. Dieser kleine Kunstgriff funktioniert nicht bei dicken Bohlen, die äußerlich trocken erscheinen mögen, auch wenn sie innen noch grün sind. Wenn in dieser Beziehung also Zweifel bestehen, sollte man mit dem Verarbeiten so lange warten, bis die Luftfeuchtigkeit sinkt oder bis das Holz, das man verarbeiten will, trockener ist. Nur im Notfall, wenn es gar keine andere Möglichkeit gibt, kann man das Harz auf feuchtes Holz aufbringen. Selbstverständlich muß das Holz sauber sein und frei von Verunreinigungen wie Öl, Schmutz und Staub. Lösungsmittel-Rückstände verhindern ebenfalls eine gute Haftung. Öle und Fette sollten mit einem Lösungsmittel beseitigt werden – wir haben herausgefunden, daß Alkohol dabei sehr wirkungsvoll ist. Anschließend muß das Holz geschliffen werden, damit eine Beeinträchtigung der Epoxid-Haftfähigkeit ausgeschlossen wird. Werden hierbei Tücher benutzt, muß man sicher sein, daß auch sie sauber sind und nicht von den Lösungsmitteln angelöst werden und dabei ihre Bestandteile auf dem Werkstück hinterlassen.

Immer wieder ist die Temperatur ein wichtiges Kriterium: die der Werkstatt, die des Holzes und die des Epoxidharzes. Nach unserer Erfahrung liegt die beste Verarbeitungs temperatur zwischen 15° und 21° C. Sowohl Epoxidharz wie auch Holz sollten vor der Verarbeitung Raumtemperatur haben oder wärmer sein. Bei niedrigeren Temperaturen nimmt die Viskosität des Harzes zu – es entstehen also Schwierigkeiten beim Tränken. Warmes Harz, andererseits, bleibt auf kaltem Holz lange genug dünnflüssig, um in das Holz einzudringen. Eine Erhöhung der Harzaufnahme kann auch dadurch erreicht werden, daß man das Werkstück vorwärmt und es anschließend leicht abkühlen läßt. Das Anwärmen des Holzes und des Epoxids bereitet etwas mehr Arbeit, lohnt sich aber gegenüber der Verarbeitung unter kalten Umgebungsbedingungen. Man kann auch mit etwas weniger befriedigenden Resultaten kaltes Harz auf eine kalte Oberfläche auftragen und dann beides gleichzeitig mit einem Föhn, einer Wärmepistole oder einer Glühlampe beheizen.

Auch während der Härtungsdauer des Harzes sollte man versuchen, eine gleichmäßige Temperatur einzuhalten. Wird frisch überzogenes Holz erwärmt, oder kaltes Holz in einen warmen Arbeitsraum gebracht, oder z.B. mit Harz überzogenes Sperrholz aus einem kalten Arbeitsraum in das Sonnenlicht transportiert, erzeugt die Luft im Holz durch ihre Wärmedehnung Blasen an der Oberfläche des Überzugs. Aus dem gleichen Grund können Trübungen oder andere Fehler dann entstehen, wenn eine frisch beschichtete Oberfläche aus einer warmen Halle zum Trocknen und Aushärten ins Kalte umgesetzt wird.

WEST SYSTEM Epoxidharz, im Verhältnis 5 Teile Harz zu 1 Teil Härter wie üblich gemischt, soll für beide Anwendungsgebiete – Verkleben wie auch Überziehen -benutzt werden. Wir empfehlen den schnellen Härter (Type 205) für Beschichtungen bei Temperaturen bis 21° C und den langsamen Härter (Type 206) bei höheren Temperaturen. Der

schnelle Härter läßt das Harz auch schneller aushärten. Hierdurch ist die mögliche Verunreinigung aus der Luft geringer. Er ist auch vorzuziehen, wenn eine transparente Oberfläche gewünscht wird. Unter normalen Bedingungen können Beschichtungen mit dem Härter Type 205 schon nach 24 Stunden geschliffen werden und bei Benutzung des Härters Type 206 nach 24-48 Stunden, je nach Umgebungstemperatur.

Für die meisten Beschichtungsarbeiten soll das Epoxidharz ohne Füller und Zuschlagstoffe verwendet werden. Benötigt man ein Mischungsverhältnis, das nicht so leicht abtropft, so kann man eine geringe Menge Quarzmehl (Type 406) beimischen. Am besten mischt man zunächst eine Harz-Härter-Menge von ca. 120 cm^3 an und wiederholt dies, bis die benötigte Harzmenge erreicht ist. WEST SYSTEM Epoxid sollte möglichst nicht mit Lösungsmitteln verdünnt werden, weil das die mechanischen Eigenschaften des Harzes verändert.

Am praktischsten ist es, WEST SYSTEM Epoxidharz mit einer Kunststoffrolle aufzubringen. Nach vielen Versuchen haben wir uns für die WEST SYSTEM-Rolle Type 800 entschieden, die einen 3 mm starken Überzug aus Schaumstoff auf einem festen Untergrund hat. Bei einem Bezug aus porösem, weichem Schaum oder bei einer Schaumstärke von mehr als 5 mm wird Luft mit eingerollt. Wir raten daher also von ihrem Gebrauch ab. Die auswechselbaren Rollen sind billig und sollten, da eine Reinigung nicht möglich ist, nach Gebrauch weggeworfen werden.

Wir haben Rollen vor und nach der Benutzung gewogen und haben festgestellt, daß sie mehr als 60g Epoxid aufsaugen können. Für eine kleine Arbeit sind 60g Harz ein großer Schwundfaktor. Deshalb sollte die Arbeit so organisiert werden, daß mehrere Bereiche zur gleichen Zeit und mit derselben Rolle bearbeitet werden können. Während der Arbeit verschlechtert sich der Zustand der Rollenoberfläche, da die Viskosität des Harzes steigt, während es langsam in den Härtungsprozeß übergeht. Um die Benutzungsdauer der Rolle zu vergrößern, empfiehlt es sich, immer nur kleine Mengen Harz anzurühren und die Rolle zwischendurch immer wieder trocken zurollen, bevor neues Harz in die Ausrollwanne gegossen wird.

Es gibt viele Bereiche in einem Boot, die man mit einer Rolle von 180 mm Standardbreite nicht erreichen kann. Unsere Lösung hierfür sieht so aus, daß wir die Rollen in kürzere Abschnitte zersägen und sie auf einen verstellbaren Halter montieren. Diese Halter bekommt man in gut sortierten Baumärkten oder beim Malerbedarf. An anderen Stellen, die sehr beengt sind, benutzen wir schmale Borstenpinsel für den Auftrag. Dort, wo man an kleinen Stellen sehr präzise arbeiten muß, schneiden wir die Borsten der Pinsel kurz.

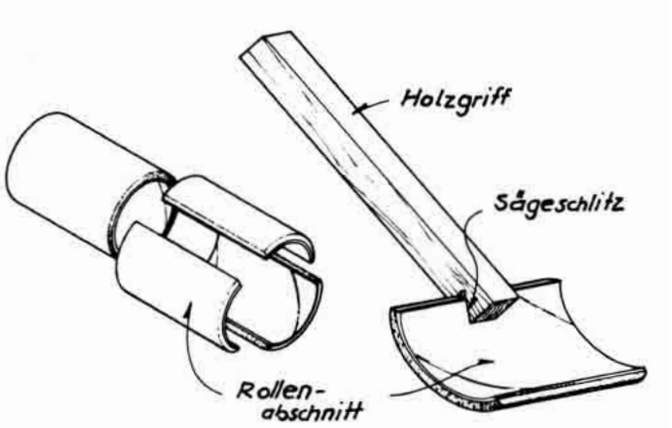


Bild 11.2 – HersteHen von Schaumpinseln aus RoHensegmenten.

WEST SYSTEM Harz ist ein recht viskoses Material, das einen erheblichen Rollendruck erfordert. Dieser Druck in Verbindung mit einer kräftigen rollenden Bewegung bringt die gewünschte gleichmäßige Beschichtung auch auf großen Flächen. Aber ebenso oft entsteht leider eine mit Luftblasen gespickte Oberfläche. Diese Blasen sollte man vor dem Aushärten ausstreichen, da sich eine glatte Oberfläche leichter weiterbearbeiten läßt. Es gibt Schaumbürsten, mit denen man diese Blasen entfernen kann, aber sie sind teuer und etwas zu weich, also nicht die ideale Lösung. Wir fertigen uns unsere eigenen, billigen Schaumbürsten folgendermaßen an: wir schneiden die WEST SYSTEM Rolle Type 800 quer durch und machen daraus 3 Stücke. Die Kanten müssen gerade und sauber sein. Wir stecken sie dann in den Schlitz eines kleinen Stokkes, wie in Abb. 2 gezeigt. Manchmal benutzen wir zum Nacharbeiten der Oberfläche auch Borstenpinsel, die für den Harzauftrag nicht sonderlich effektiv sind und auch etwas teurer als die Rollen. Es ist ziemlich schwierig, mit einem Pinsel eine gleichmäßige Harzoberfläche zu streichen, und es ist noch schwieriger, nachträglich den Pinsel zu säubern. WEST SYSTEM Epoxid kann aus Pinseln herausgelöst werden, aber man braucht hierfür sehr viel mehr Zeit als bei normaler Farbe, denn der Härtungsprozeß geht weiter, auch wenn nur noch kleine Reste des Harzes im Pinsel vorhanden sind. Wenn man Pinsel benutzt, sollte man sie in einem abgedeckten Behälter mit Lösungsmittel aufbewahren.

Es ist sicherlich möglich, WEST SYSTEM Epoxid auch aufzuspritzen, aber wir empfehlen das

nicht. Abgesehen von den praktischen Schwierigkeiten – unser Harz ist ein hoch-viskoses Material, das schon sehr schwer zu zerstäuben ist, und das Zersetzen mit Lösungsmitteln würde die mechanischen Eigenschaften verändern – die Gesundheitsgefährdung ist einfach zu hoch. Wenn ein auf Harz sensibel reagierender Mensch in Kontakt mit Sprühnebeln kommt, könnten die gesundheitlichen Beeinträchtigungen ernsthafter Natur sein.

Bild 11.3 – Aufbau der Beschichtung auf dem Deck der Proa SLINGSHOT. Rumpf und Deck sind mit grau eingefärbtem Harz gestrichen.

Der erste Anstrich mit WEST SYSTEM Epoxidharz

Beim Auftragen der ersten Schicht WEST SYSTEM Epoxid auf unbehandeltes Holz wird es die Holzoberfläche durchdringen, sich in den Zellen festsetzen und dabei die Luft aus Hohlräumen und Rissen herausdrängen. Wie tief das Harz hierbei eindringt, hängt von verschiedenen veränderlichen Größen ab: Holzdichte, Faserverlauf und Holzfeuchte. Die Aufgabe des ersten Anstrichs besteht darin, das Holz einzukapseln. Ein sehr tiefes Eindringen ist unerwünscht.

Wie weit das Harz eindringt, hängt wesentlich von der Holzdichte ab. Cedar (eigentlich Cedrela) nimmt zum Beispiel mehr Harz auf als Mahagoni. Die Orientierung der Fasern bestimmt ebenfalls den Grad der Tränkung, weil die Enden von Stirnholz mehr Harz aufsaugen als längslaufende Fasern. Parallel zur Schnittkante verlaufen die Fasern nur in wenigen Brettern, meistens sind sie mehr oder weniger stark angeschnitten, so daß die Tränkung ungleichmäßig sein wird. In Stirnholz dringt aber auch die Feuchtigkeit besonders leicht ein – schon deshalb ist hier ein tiefes Tränken mit Harz notwendig.

Vereinzelt widersetzen sich Zellen überhaupt dem Eindringen irgendeiner Flüssigkeit, auch dem Wasser, sofern man das Holz nicht längere Zeit untertaucht. Bei der ersten Beschichtung mit WEST SYSTEM Epoxid dringt dieses in Hohlräume und angeschnittene Fasern ein. Und genau das will man ja erreichen. Würde das Harz insgesamt zu tief eindringen, hätte das zur Folge, daß das Holz nicht nur schwerer, sondern auch brüchiger wird. Dem Vorteil einer guten Tränkung steht der Nachteil schlechterer mechanischer Eigenschaften und eines erhöhten Gewichts gegenüber.

Bei den meisten Holzsorten ist die Harzaufnahme bis zu dem Punkt erwünscht, an dem die Faser-Festigkeit erreicht wird. Bricht einmal eine Leim-oder Klebeverbindung, sollte dieser Bruch im Holz auftreten und nicht in der Klebefuge. Für Verbindungen ist das besonders wichtig, für Beschichtungen jedoch nicht minder. Wenn eine Beschichtung so gut haftet, daß man sich nur um das Holz selbst Gedanken zu machen braucht, hat man damit schon einen Großteil seiner Sorgen beseitigt. Man hat es lange Zeit für unmöglich gehalten, eine Beschichtung zu finden, die in Seewasser-Atmosphäre über einen langen Zeitraum auf dem Holz fest haftet. Polyesterharz und die meisten Farbanstriche haben im besten Fall mittelmäßige Ergebnisse gezeigt.

Holz besteht vom Volumen her im wesentlichen aus Luft. Wenn diese nicht während des Beschichtens entweichen und dem Harz Platz machen kann, stellt sie ein rechtes Hindernis für das Tränken dar. Beim ersten Auftrag von Harz auf rohem Holz bilden sich an der Oberfläche vielfach kleine Blasen. Diese bedeuten, daß Luft und Harz den Platz getauscht haben. Meistens geht dieser Austausch recht leicht vonstatten, manchmal treten allerdings Schwierigkeiten auf. Die Luft entweicht schlecht, wenn kaltes Harz zu dick aufgetragen wird. Wir haben hier folgenden Fall: die Luft ist nicht imstande, aus den Hohlräumen zu entweichen, und das dickflüssige Harz ist wiederum nicht in der Lage, die Luft hinauszudrücken. Die einfachste Lösung hierfür ist, die Arbeit in einen geheizten Raum zu verlegen. Ist das nicht möglich, gibt es noch andere Kniffe (siehe unter „Hinweise“ in diesem Kapitel).

Während der ersten Beschichtung sollen Bereiche, die nach einer gewissen Zeit wieder trocken erscheinen, nachgerollt werden, so daß die Oberfläche gleichmäßig getränkt erscheint. Stirnholz saugt

große Harzmengen auf. Man sollte aber bei der ersten Beschichtung nicht zu viel Harz auftragen, weil eben eine zu große Harzmenge einen Luftaustausch erschwert. Statt dessen empfiehlt es sich, nach einigen Minuten über die erste Schicht eine zweite zu rollen. Etwa eine Viertelstunde nach der ersten Beschichtung wird geprüft, ob die Schichtdicke ausreicht. Zu schwach getränke Stellen werden nachgerollt.

Da sich die Fasern des Holzes während der Harzaufnahme ausdehnen, wird der Erstauftrag häufig uneben und rauh aussehen. Nach dem Aushärten soll die Fläche daher geschliffen werden, bevor der zweite Anstrich aufgebracht wird oder die Fläche mit Glasgewebe überzogen werden soll. Man kann größere Fehlstellen – Hohlräume, Löcher der Klammern, Kerben oder andere Vertiefungen – auch nach dem zweiten oder dritten Harzauftrag ausfüllen, aber wir machen das schon nach dem ersten, so daß diese verfüllten Hohlräume wieder von Harz bedeckt sind. Nachdem diese Stellen ausgespachtelt und ausgehärtet sind, werden sie mit Schleifpapier und -Klotz geglättet. Damit ist alles fertig für den zweiten Anstrich.

Folgeanstriche mit WEST SYSTEM Epoxidharz

Der zweite Harzanstrich wird wieder mit der Schaumrolle aufgetragen. Die Aufgabe besteht nun darin, eine glatt beschichtete Oberfläche zu erzeugen, dazu muß man die Rolle in beiden Richtungen führen. Das Harz soll nach allen Seiten hin ausgerollt werden, um eine gleichmäßige Filmdicke zu erreichen. Wird unbeabsichtigt zuviel Harz aufgetragen, kann es ablaufen. Kaltes Epoxidharz läßt sich nur schwer in einer gleichmäßigen Schichtdicke auftragen, daher sollte für die Anstriche nur warmes Harz benutzt werden. Um kleine Luftblasen und Erhebungen auszustreichen, empfiehlt sich wieder ein Pinsel, wie bereits in diesem Kapitel erwähnt.

Auf alle unbehandelten Oberflächen im Inneren des Bootes muß mindestens eine Beschichtung und eine Decklage Harz aufgetragen werden. Beim Schleifen besteht die Gefahr, einen oder gar mehrere Harzaufträge wieder abzutragen, also müssen mindestens drei Schichten aufgebaut werden. Natürlich kann man auch noch mehr Anstriche aufbringen, und diese bewirken auch eine größere Widerstandsfähigkeit gegenüber Belastungen, aber man erreicht irgendwann den Punkt, an dem der praktische und wirtschaftliche Nutzen nicht mehr den Aufwand lohnt. Je glatter nun die Oberfläche nach der Beschichtung ist, desto weniger muß man vor dem Endanstrich oder der Lackierung nachschleifen. In vielen Fällen kann man auch den zweiten und dritten Anstrich weglassen, z.B. bei der Inneneinrichtung oder in anderen Bereichen, die keinen dekorativen Endanstrich benötigen. Für die Endbeschichtung sollte man, wie immer, frühzeitig den Arbeitsablauf durchdenken.

Beschichtungsbeispiele in unserer Werkstatt haben gezeigt, daß wir 8,2 m^2 mit 1 kg Harz-Härter-Mischung abdecken können. Wenn 60 g Harz in einem Rollenüberzug ungenutzt verbleiben, und einiges Material in der Ausrollwanne oder im Mischgefäß zurückbleibt, kann dadurch die tatsächlich (netto) genutzte Menge um bis zu 25% reduziert werden. Eine realistische durchschnittliche Auftragsmenge für das Abschätzen der Kosten und Mengen von Erst-und Zweitbeschichtungen mit WEST SYSTEN Epoxidharz ist 7,2 m^2 pro kg Harz-Härter-Mischung.

WEST SYSTEM Pigmente und andere Zuschlagstoffe

Pigmente und andere Zuschlagstoffe können dem Epoxid für alle Beschichtungen, beginnend von der zweiten an, beigemischt werden. Da sie die Tränkung beeinflussen, raten wir davon ab, sie bereits für den ersten Anstrich zu verwenden (siehe auch Kapitel 7: Produktinformation). WEST SYSTEM weiße und graue Pigmente können natürlich nicht beigemischt werden, wenn ein Rumpf naturfarben lackiert werden soll. Wenn das Boot aber einen farbigen Anstrich erhält, können sie durchaus hilfreich sein. Während des Anstrichs hat man durch die Pigmente eine sichtbare Kontrolle der Schichtdicke, und beim Schleifen erkennt man ebenfalls, ob man bereits zuviel abträgt. Eingefärbtes Epoxidharz kann auch als gute Grundlage für einen farbigen Anstrich dienen, so daß weniger Schichten des späteren Lackes notwendig sind.

Sowohl Pigmente wie auch WEST SYSTEM Aluminiumpulver (Type 420) dienen als Schutz gegen direkte Sonnenstrahlung. Epoxidharze werden durch zu lange Einwirkung von UV-Licht beeinträchtigt. Soll das Boot also nicht anschließend naturlackiert werden, müssen entweder Pigmente oder Aluminiumpulver dem letzten Anstrich beigefügt werden. Da sich Aluminium schlechter schleifen läßt als eine Pigmentmischung, empfehlen wir, es nur dort zu verwenden, wo die Oberfläche bereits glatt ist.

Der feuerhemmende Füllstoff WEST SYSTEM Type 421 und Graphitpulver Type 423 werden in bestimmten Bereichen und für einige Anwendungen benutzt. In besonders feuergefährdeten Berei-

chen des Bootes kann der zweiten Beschichtung der feuerhemmende Füllstoff zugemischt werden. Normalerweise ist das nur in der Pantry und im Maschinenraumbereich notwendig. Überzüge, die mit Graphitpulver versetzt werden, benutzt man gelegentlich für Ruder, Schwert und Rennboote.

FLOCOAT-Vedahren

FLOCOATING ist eines der wirkungsvollsten Verfahren, um Holz zu beschichten. Hiermit ist es möglich, eine sehr glatte Oberfläche in einer Schichtdicke zu erreichen, die wenigstens drei Einzelaufträgen Harz entspricht. Der Nachteil dieser Technik besteht darin, daß das Epoxidharz dazu neigt, sich gleichmäßig auszubreiten. Also ist es nur auf wirklich ebenen Flächen anwendbar. An senkrechten oder auch stark geneigten Flächen würde das Harz ablaufen.

In den letzten Jahren haben wir unsere FLOCOAT-Technik schrittweise verändert und benutzen nun mehrere unterschiedliche Verfahren, je nach der geforderten Beschichtungsdicke. Die Hinweise sind daher gegenüber früheren Ausgaben dieses Buches geringfügig geändert.

Bild 11.4 – Der Rumpfboden der SLINGSHOT wurde mit Harz beschichtet, dem Aluminium-Pigmente beigegeben wurden.

Man beginnt damit, daß man mit einem Spachtel Harz dünn auf die Oberfläche aufträgt. Es soll nur soviel Harz aufgebracht werden, daß die Oberfläche gerade versiegelt ist. Es soll eben kein Film aufgebaut werden.

Etwa eine Stunde später muß dann die erste Beschichtungslage aufgetragen werden, und zwar gießt man sie direkt aus dem Mischbecher auf die Fläche. Mit einem Zahnspachtel wird nun das Harz so gleichmäßig wie möglich verteilt – die kleinen Erhebungen, die durch die Zähne entstehen, sind ein guter Hinweis für eine gleichmäßige Schichtdicke.

Als nächstes muß das Harz ausgerollt werden. Mit leichtem Druck wird die Rolle kreuz und quer geführt. Noch einmal wird der gleichmäßige Auftrag geprüft und dann mit einem feinen Pinsel die Oberfläche glattgestrichen. Innerhalb von 10 bis 15 Minuten wird die Oberfläche spiegelglatt sein.

Üblicherweise schleifen wir die gesamte Platte, nachdem die Beschichtung ausgehärtet ist. Erst dann schneiden wir die gewünschten Bauteile aus. In den meisten Fällen ist dieses Schleifen die Vorbereitung für die spätere Lackierung, die aber erst vorgenommen wird, wenn alle Teile zusammengefügt sind.

Um Arbeitszeit zu sparen, kann man das Verfahren in begrenztem Umfang auch dort anwenden, wo die Flächen nicht absolut eben sind. Wir haben zum Beispiel auf diese Weise Schwerter, Ruder, Decksflächen, Fußböden und Kajütdächer beschichtet, allerdings mit weniger Harz, als wir auf ebene Flächen hätten aufbringen können. Um das Abtropfen des Harzes zu behindern, kann man Füller niedriger Dichte beimischen. Dies ist besonders empfehlenswert, um unebene Oberflächen einer Platte auszugleichen.

Üblicherweise benutzen wir etwa 0,9 kg Harz/Härter-Mischung für das Beschichten nach dem FLOCOATING-Verfahren für eine Seite einer Sperrholzplatte von 2,4 x 1,2 m. Das bedeutet etwa 0,31 kg Harz pro m2, einschließlich der Menge, die man zum Vortränken benutzt. Wieviel Harz man schließlich für die gesamte Beschichtung benötigt, ist selbst bei gleichen Holzsorten nicht immer präzise zu bestimmen. Man muß mit dem Anmischen des Harzes also den jeweiligen Gegebenheiten Rechnung tragen. Für einen ersten Versuch empfehlen wir, mit etwa 200 g Harzmischung zu beginnen.

Reinigen und Schleifen von beschichteten Oberflächen

WEST SYSTEM Harz bindet auf Oberflächen, die mit dem gleichen Material beschichtet wurden, ab. Dafür muß nicht zwischengeschliffen werden. Allerdings muß man sicher sein, daß die Oberfläche nicht nach der vorherigen Beschichtung verunreinigt wurde. Es empfiehlt sich daher, alle ausgehärteten Harzbeschichtungen mit einem sauberen Lappen und Wasser abzuwischen. Manchmal erscheint auf der ausgehärteten Oberfläche eine fettige Substanz. Das ist die sogenannte „Aminröte“ , ein Nebenprodukt der Harz/Härter-Reaktion. Man sollte diese Schicht mit einem nassen Lappen vor der weiteren Verarbeitung entfernen. Bleibt die „Aminröte“ auf dem Harz, verklebt sie das Schleifpapier und kann einen guten Verbund verhindern. Außerdem zieht dieser Belag Feuchtigkeit aus der Luft an, was wiederum eine gute Verklebung mit der unteren Schicht schwieriger macht. Besonders häufig tritt dieser Belag dort auf, wo das Harz bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen aushärtet. Ein gut beheizter Arbeitsraum verhindert also in den meisten Fällen das Auftreten dieses Belags.

Die Oberflächen können aber auch durch Substanzen verunreinigt sein, die nicht wasserlöslich sind. Sie müssen mit einem Reinigungsmittel entfernt oder abgeschliffen werden. Bei hoher Luftfeuchtigkeit kann sich auch Wasser auf der Oberfläche niederschlagen. Dieses bewirkt, wie bereits erwähnt, Schwierigkeiten bei der Aushärtung und behindert den Verbund zum folgenden Harzauftrag. Kondensation kann außerdem zur Trübung einer Epoxidschicht führen. Bei Arbeiten in hoher Luftfeuchtigkeit empfiehlt es sich daher, den schnellen Härter zu verwenden, da er weniger offene Zeit hat, in der sich die Feuchtigkeit niederschlagen kann. Außerdem sollten möglichst gleichmäßige Temperaturen eingehalten werden. Wird im Notfall einmal im Freien bei Regen gearbeitet, müssen die frisch beschichteten Flächen mit einer Plastikplane abgedeckt werden.

Um alle Verunreinigungen während der Beschichtungen zu vermeiden, ist es manchmal am einfachsten, die nächste Schicht bereits aufzutragen, während die darunterliegende noch aushärtet. Das kann zwischen 1 bis 3 Stunden nach dem vorherigen Harzauftrag sein, abhängig von Temperatur und Härtertype. Sobald das Harz zu härten beginnt und dabei eine feste Konsistenz annimmt, kann man ohne Bedenken den nächsten Harzauftrag vornehmen. Wir haben an einem Tag 3 Schichten aufgetragen, nur mit kurzen zeitlichen Zwischenräumen, ohne daß das Harz ablief. Da man bei dieser Arbeitsweise zwischendurch nicht schleifen kann, ist die Fläche zum Schluß vielleicht rauher als erwünscht, was man als Nachteil dieser Methode ansehen muß. Andererseits haben wir festgestellt, daß sich das Harz besser auf der Fläche verteilt, als wenn man nur dünne Einzelschichten auf eine jeweils gehärtete Unterlage aufbringt.

Wenn nun die entsprechenden Lagen Harz aufgetragen sind, muß die Fläche für den Endanstrich oder die Lackierung geglättet werden. Vielfach, besonders bei Bauteilen im Innenraum, wird man dieses Schleifen bereits besorgt haben, bevor die Teile eingebaut wurden. Für alle Außenflächen ist es jedoch üblicherweise am rationellsten, wenn sie in einem Durchgang ganz zum Schluß geschliffen werden.

Das Schleifen einer harzbeschichteten Oberfläche kann recht viel Aufwand verursachen, besonders dann, wenn man eine Hochglanzlackierung erreichen will. Zum Glück gibt es einige arbeitssparende Tips. Wir benutzen eine schaumgepolsterte Schleifscheibe auf einer Rundschleifmaschine und erreichen damit etwa 90% der äußeren Flächen. Für den ersten Schliff benutzen wir 80er bis 100er Sandpapier und für den zweiten Schliff dann Schleifpapier mit 120er bis 180er Körnung. Die meisten Bootsbauer geben sich mit dieser Oberfläche zufrieden. Man kann mit Naßschliffpapier mit 220er bis 230er Körnung eine noch glattere Oberfläche erreichen und hat dann den gewünschten Effekt für eine Hochglanzlackierung.

Primer

Wir haben festgestellt, daß für die Lackierung von Flächen, die mit WEST SYSTEM Epoxid beschichtet sind, in den seltensten Fällen Primer benötigt werden. Natürlich können Primer nicht auf naturlackierten Flächen aufgebracht werden, aber auch bei farbig gestrichenen halten wir ihren Nutzen für zweifelhaft.

Üblicherweise braucht man keinen Primer, um die Haftung zwischen WEST SYSTEM Harz und Lackierung sicherzustellen. Die meisten Lacksysteme haften sehr gut auf einer geschliffenen Epoxidfläche, nur bei bestimmten Typen von Unterwasserfarbe werden Primer benötigt. Wenn die Verarbeitungshinweise des Lack- oder Farbenherstellers die Verwendung von Primern empfehlen, sollte die harzbeschichtete Oberfläche so weit angeschliffen werden, daß sie ihren Glanz verliert. Danach kann man den Richtlinien für den Farbauftrag auf GFK-

Bild 11.5 – Abschließender Schliff der grauen Harzbeschichtung auf dem Deck der SLINGSHOT. Orbitalschleifer eignen sich am besten für diese Arbeit.

Yachten folgen. Um ganz sicher zu gehen, sollte man einen Probeanstrich an einer nicht so markanten Stelle des Bootes machen. Wenn der Lack dort nicht innerhalb der vorgegebenen Zeit aushärtet, empfehlen wir, entweder die Marke zu wechseln oder doch einen Primer aufzutragen.

Manchmal werden Primer auch nur benutzt, um das Schleifen der Oberfläche zu erleichtern. Theoretisch ist es eben einfacher, einen Primer zu schleifen als das reine Harz. Mitunter mag das stimmen, aber man muß dabei die Vor- und Nachteile gegenüber der notwendigen Zeit für diesen zusätzlichen Anstrich abwägen. Da Primer sowohl mit der Rolle, wie auch mit dem Pinsel schwer aufzubringen sind, – aus Sicherheitsgründen sprechen wir gar nicht erst über das Spritzen – braucht man wohl mehr Zeit als für das Schleifen der Harzoberfläche. Primer verlaufen nun einmal nicht so gut wie WEST SYSTEM Epoxid, also muß man recht lange schleifen, um die Primerschicht so glatt zu bekommen wie eine angeschliffene Epoxidharzfläche.

Wenn man die Harzbeschichtungen eingefärbt hat, erhält man eine gute Kontrolle gegen zu starkes Wegschleifen. Bei richtiger Farbwahl deckt der Lackanstrich auch besser, so daß man hier auch möglicherweise an den Lackaufträgen sparen kann. Wenn wir einen Rumpf farbig streichen müssen, geben wir der letzten Schicht des Harzauftrages Pigmente bei, um eine bessere Kontrolle zu haben.

Feinarbeiten der Oberfläche

Mit Primern erreicht man keine Zeitersparnis bei der Oberflächenbehandlung, wohl aber mit einem Feinspachtel. Dieser Typ von Spachtelmasse wird von verschiedenen Herstellern angeboten und ist sehr viel dünner in seiner Konsistenz als ein Füllspachtel. Man kann ihn also sehr schnell in einem dünnen Film auftragen. Wir empfehlen hierfür einem breiten Spachtel. Das Ergebnis ist eine verhältnismäßig glatte Oberfläche, die sehr leicht zu schleifen ist. Da kleine Schmutzpartikel diese Arbeit beeinflussen können, muß man dafür sorgen, daß die Oberfläche sauber ist, bevor der Spachtel aufgetragen wird.

Feinspachtel haben gegenüber Primern den Vorteil, daß sie hoch gefüllt sind und man also sehr einfach kleine Lunker und Vertiefungen ausfüllen kann. Man hat oftmals die Wahl zwischen dem Schleifen kleiner Luftblasen und Riefen und ihrem Auffüllen. Das zusätzliche Schleifen ist zeitraubend und man schleift eventuell mehr von der Harzbeschichtung weg als erwünscht ist. Der Feinspachtel ist also eine echte Alternative.

Alle großen Farbenhersteller bieten diesen Spachteltyp an und geben Hinweise für seine Anwendung. Man muß darauf achten, daß die Spachtelmasse und das anschließende Farbsystem miteinander verträglich sind, da einige Farben und Lacke sehr aktive Lösungsmittel enthalten, die auf den Spachtel einwirken können. Das gleiche gilt übrigens für den Verdünner, der ebenfalls auf das System abgestimmt sein muß.

Die Konsistenz der Spachtelmasse muß während des Auftragens ständig kontrolliert werden. Ist er zu dickflüssig, gibt es Schwierigkeiten, ihn in einem gleichmäßigen Film aufzutragen, ist er dagegen zu dünn, kann man nicht alle Vertiefungen ausfüllen. Es ist aber besser, mit zu dünner Konsistenz als mit zu dicker zu arbeiten, denn eine zweite Spachtelschicht ist schnell aufgetragen, schneller als man eine zu dicke weggeschliffen hat. Während des Auftrags wird man meistens etwas Verdünner dazugeben müssen, um die Verdunstung auszugleichen.

Farben und Lacke

Im Laufe der Jahre haben wir viele verschiedene Lacksysteme mehrerer Hersteller ausprobiert, aber natürlich nicht alle, die auf dem Markt sind. Einige dieser Lacke binden auf WEST SYSTEM Epoxidharz nicht gut ab. Das Verhalten der Farben und Lacke ist nicht vorhersehbar, und wir können nicht alle Marken, die angeboten werden, durchprobie-

Bild 11.6 – Ein linearer Zweikomponenten-PU-Lack wird mit der RoDe aufgetragen.

ren. Daher empfehlen wir dringend, einen Probeanstrich vorzunehmen, bevor man größere Mengen des Lackes einkauft. Die erst kürzlich entwickelten Linearen Polyurethanlacke (LP) sind ohne Zweifel allen anderen überlegen, die wir bisher ausprobiert haben. Wir empfehlen daher die LP als Abschlußauftrag auf WEST SYSTEM Epoxidharzen. Diese LP-Lacke haben eine ausgezeichnete Widerstandsfähigkeit gegen Sonneneinstrahlung, Salzwasser und andere Witterungseinflüsse. Sie sind ebenso hart und widerstandsfähig gegen Abnutzung wie Polyester-Gelcoat. Das Wichtigste aber ist, daß sie ausgezeichnet auf WEST SYSTEM Epoxidharzen haften.

LP-Lacke können gespritzt, gerollt oder mit dem Pinsel aufgestrichen werden. Der Auftrag mit der Hand ist zeitraubender, erfordert aber weniger Vorbereitung, so daß es eigentlich keine großen Unterschiede zwischen beiden Verfahren gibt. Manchmal mag das Auftragen mit dem Pinsel schneller sein. Auf jeden Fall ist es sicherer.

Gesundheitsschädliche Lösungsmitteldämpfe werden bei jeder Art von Farbauftrag freigesetzt, daher muß eine ausgezeichnete Belüftung sichergestellt sein. LP-Lacke sind noch etwas gefährlicher, da sie 1 – 2% Isocyanat enthalten, ein hochgiftiges Material. Wenn LP-Lacke aufgespritzt werden, wird auch das Isocyanat verstärkt freigesetzt und kann inhaliert werden. Die meisten Hersteller dieser Lacke empfehlen Druckluft-Atemschutzgeräte. Wir raten jedoch, LP-Lacke nicht aufzuspritzen. Rollen- oder Pinsel auftrag vermeiden eben diese Gefahren.

Klarlackbeschichtung und Naturlackierung

Durchsichtige Anstriche, die man im allgemeinen als Klarlack bezeichnet, sind attraktiv, dauerhaft und recht leicht aufzubringen. Ihr hauptsächlicher Nachteil liegt darin, daß sie sich unter direkter Sonneneinstrahlung zersetzen und daher mehr Pflege brauchen als pigmentierte Lacke. Wir teilen den Wunsch vieler Holzbootsbauer, die Schönheit des Holzes sichtbar zu machen. Aber weil eines unserer Ziele darin besteht, den Bootsbau möglichst einfach zu halten, wenden wir klare Lacke im Innern der Boote an und dort, wo die Beeinflussung durch ultraviolettes Licht relativ gering ist (siehe Kapitel 24: Lackierte Innenteile).

Zwei Dinge geschehen, wenn eine klar lackierte Oberfläche zu stark dem Sonnenlicht ausgesetzt wird. Das erste und sicherlich augenfälligste ist, daß der Lack selbst allmählich abgebaut wird. Gleichzeitig verändern sich in einem bisher nicht völlig bekannten Prozeß die chemischen und physikalischen Eigenschaften in der Holzoberfläche und zwar bedingt durch den Lacküberzug. Es mag sein, daß diese Veränderungen dazu beitragen, daß sich der bereits geschwächte Lacküberzug von dem durch UV-Einstrahlung veränderten Holz löst. Wenn wir die derzeit bekannten Verfahren zugrunde legen, so zersetzen sich alle klaren Lackierungen auf Holzoberflächen durch Sonneneinstrahlung. Wie lange dieser Vorgang dauert, hängt von der Formulierung des Überzugs ab, ebenfalls von der Dauer der Sonneneinstrahlung, der Lage des überzogenen Teiles innerhalb des Bootes und der Oberfläche unter der Lackierung.

Bild 11.7 – Hochglanzlackierung am Rumpf der GOLDEN DAZY.

Einige Klarlacke haben eine längere Lebenszeit als andere. Die haltbarsten unter ihnen enthalten sehr te ure UV-Stabilisatoren. Sie werden von den meisten Lackherstellern unter der Bezeichnung Spieren- oder Bootslack angeboten. Am einfachsten erkennt man sie an ihrem hohen Preis. Die meisten Bootslacke sind auf der Basis von Phenolharz mit Leinöl hergestellt. Diese Mischung ist weniger hart und dauerhaft als LP-Lacke, aber in bezug auf Dauerhaftigkeit bei direkter Sonneneinstrahlung sind sie unstreitig die besten. Es gibt inzwischen verschiedene LP-Klarlacke, die ebenfalls mit UV-Stabilisatoren ausgerüstet sind.

An den Rumpfseiten hält ein klarer Lack üblicherweise länger als auf Decks. Das Deck ist nun einmal der direkten Sonnen einstrahlung viel stärker ausgesetzt. Die Seiten des Rumpfes bekommen immer nur einen Teil der Sonneneinstrahlung. Morgens und nachmittags, wenn die Sonne senkrecht auf den Rumpf scheinen kann, ist ihre Intensität längst nicht so stark wie um die Mittagszeit, da die Strahlen durch atmosphärische Interferenz gefiltert werden. Aus diesem Grund hält ein Klarlack auf einer WEST SYSTEM Beschichtung auf Deck möglicherweise in unserer Gegend nur einen Sommer und auf dem Rumpf doppelt so lange.

Man kann den zusätzlichen Arbeitsaufwand niedrig halten und die Lebensdauer des Lacks erheblich erhöhen, indem man jedes Jahr einen neuen Überzug aufbringt. Zu Beginn der Saison sollte die Fläche leicht angeschliffen und dann noch einmal lackiert werden.

Es hat den Anschein, als ob ein Grundanstrich mit WEST SYSTEM Harz die Lebensdauer eines Klarlacks erhöht. Wir glauben, daß der Grund hierfür in der Tatsache zu suchen ist, daß Harz und Holzfaser einen sehr intensiven Verbund miteinander eingehen. Das Holz kann sich bei UV-Einstrahlung offensichtlich von einem gut haftenden Epoxidüberzug nicht so leicht trennen wie von einem normalen Lack.

Jeder Klarlack, der dem Sonnenlicht ausgesetzt ist, braucht mehr Pflege als eine eingefärbte Schicht. Die Entscheidung für eine Naturlackierung sollte in dem vollen Bewußtsein getroffen werden, daß man sich eine Menge zusätzlicher Pflegearbeiten für die Zukunft einhandelt. Es ist wesentlich schwieriger, Dellen und Kratzer auszubessern. Das kann sogar dazu führen, daß man teilweise die ganze äußere Furnierschicht entfernen muß. Einen Vorteil hat die Naturlackierung allerdings: Wenn man feststellt, daß sie für den gewünschten Zweck nicht geeignet ist, kann man sie leicht mit einem pigmentierten Lack überstreichen. Es ist sehr viel schwieriger, eine eingefärbte Oberfläche in eine naturlackierte zurückzuverwandeln.

Es werden viele ausgezeichnete Klarlacke angeboten. Sie werden sich im Hinblick auf Hitze, Kälte und Feuchtigkeit unterschiedlich verhalten. Daher ist die Erfahrung mit einer bestimmten Sorte die wichtigste Voraussetzung für eine erfolgreiche Arbeit. Man muß also den Lack an kleinen Mustern prüfen, bevor man sich an eine große Fläche heranwagt. Wenn der Lacküberzug auf dem Probestück trotz Einhalten der Verarbeitungshinweise nicht innerhalb der vorgegebenen Zeit trocknet, muß man einen anderen Lack versuchen.

Kosten

Insgesamt gesehen sind die Kosten für Farben, Lacke und Zusatzmaterialien ein kleiner Betrag im Verhältnis zu den Gesamtkosten eines Bootes. Die Oberflächenvorbereitung und der Anstrich selbst erfordern einen enorm großen Zeitaufwand. Daher ist ein teurer aber langlebiger Lack einem billigen, der nach kurzer Zeit erneuert werden muß, vorzuziehen. Nicht nur der Preis, sondern die Qualität und der Ruf des Herstellers sollten in die Entscheidung mit einbezogen werden. Ein doppelt so teurer Lack kann im Endeffekt doch die bessere Wahl sein, weil man auf Dauer gesehen zusätzliche Arbeit und Zeit spart.

Unser Vorschlag geht dahin, alle verfügbaren Informationen über Lacke oder Farben zu sammeln, die man verarbeiten möchte. Viele Hersteller geben den Kunden ausführliche Merkblätter und Verarbeitungs hinweise an die Hand. Erfahrungen mit einem Lack versetzen den Anwender in die Lage, sein Verhalten in verschiedenen Situationen vorherzubestimmen. Auf jeden Fall sollte man nicht darauf verzichten, Proben zu machen, bevor man sich an die großen Oberflächen herantraut.

Das Auftragen von Farben und Lacken

Es widerstrebt uns, Farben und Lacke aufzuspritzen, weil dabei Gesundheitsgefährdungen nicht ausgeschlossen werden können. Wir vertrauen auf die normale Rollen- oder Pinselmethode. Mit einiger Erfahrung und unterstützt durch ein gutes Material können diese einfachen Verfahren dem Aufspritzen absolut ebenbürtig sein. Allerdings muß man hierzu seine Fertigkeiten entwickeln. Die folgenden Hinweise sollen hierbei eine Hilfestellung sein (siehe Kapitel 24: Harz- und Farbauftrag im Bootsinnern).

Bevor die eigentliche Lackierung beginnt, muß die geschliffene Oberfläche noch vorbereitet werden. Sie muß frei von Staub, Schmutz, Schleifrückständen und anderen Verunreinigungen sein. Wir schlagen vor, das folgende Vier-Punkte-Programm einzuhalten:

– Der Rumpf soll mit einem großen Schwamm, der laufend ausgespült wird, abgewaschen werden. Dabei das Wasser bitte immer wieder erneuern, während der größte Teil des Schmutzes von der Oberfläche entfernt wird.
– Den nassen Rumpf mit weichen, sauberen Lappen oder Papiertüchern trockenreiben.
– Abermals den Rumpf mit einem weichen, saugfähigen Lappen abwischen, der mit einem Lösungsmittel getränkt ist (gerade genug, um die Rumpfoberfläche feucht zu halten).
– Mit einem leicht klebrigen Tuch die letzten Stäubchen entfernen. (Mit dem gleichen Tuch noch einmal nachwischen, kurz bevor der Lack aufgetragen wird.)

In einer Holzbootswerft ist es manchmal recht schwierig, den Staub unter Kontrolle zu halten. Man sollte schon einige Zeit vor dem Beginn der Lackierarbeiten alle Holzbearbeitungsmaschinen abstellen. Außerdem empfiehlt es sich, den Fußboden mit Wasser zu besprengen, nicht nur weil es den Staub am Boden festhält, sondern auch den noch in der Luft befindlichen bindet.

Für den Farbauftrag empfiehlt sich die gleiche Schaumrolle, die schon für das WEST SYSTEM Harz benutzt wurde, und zwar aus dem einfachen Grund: gute Kontrolle. Dieser Rollentyp eignet sich hervorragend dafür, eine kontrollierte Schichtdicke auf einer großen Fläche in kürzester Zeit aufzubringen. Die wesentliche Aufgabe des Pinsels besteht ja darin, die leicht narbige Oberfläche, die die Rolle hinterläßt, zu glätten und Farbe an die Stellen zu bringen, die man mit der Rolle nur schwer erreicht. Mit einem Pinsel einen gleichmäßigen Farbauftrag herzustellen, ist ausgesprochen schwierig, da man die Schichtdicke nicht kontrollieren kann.

Das Lackieren sollte im Idealfall von zwei Leuten vorgenommen werden. Der erste, mit der Rolle und einer Ausrollwanne ausgerüstet, und der zweite mit einem Pinsel (75 bis 100 mm breit) und einer kleinen Dose Farbe oder Lack. Der „Roller“ fängt mit dem Farbauftrag an, mit langen, gleichmäßigen Bewegungen, und beschichtet eine vorgegebene Fläche, bevor die Rolle wieder in die Farbe getaucht wird. Hierbei kommt es darauf an, ein Gefühl dafür zu entwickeln, wie groß die Fläche ist, die man mit einer Rolle Farbe gleichmäßig bedekken kann. Sobald dieses Gefühl da ist, kann man den Arbeitsablauf sehr viel besser planen. Man vermeidet so, daß sich an bestimmten Stellen zuviel Farbe ansammelt und man nicht weiß, wo man sie lassen soll. Ein üblicher Fehler besteht darin, daß man eine Stelle entdeckt, an der nicht genug Farbe aufgetragen wurde, versucht diese dann nachzurollen und bringt dabei soviel Farbe auf, daß diese in Tränen abläuft. Man muß eben lernen, wie man auch mit einer Rolle nur ganz wenig Farbe aus der Wanne herausnimmt, ähnlich wie man das ja auch mit einem Pinsel macht, „den man am Rand abstreicht. Mit der Rolle ist das schwieriger, aber es geht.

Sobald auf einer gewissen Fläche die Farbe oder der Lack aufgerollt ist, tritt der „Streicher“ in Aktion, der nun mit einem leicht mit Farbe getränkten Pinsel die Fläche vertikal oder horizontal nachstreicht. Dabei darf man nur gerade soviel Druck ausüben wie notwendig ist, damit die Oberfläche gut verläuft. Weiche Pinsel liefern die glatteste

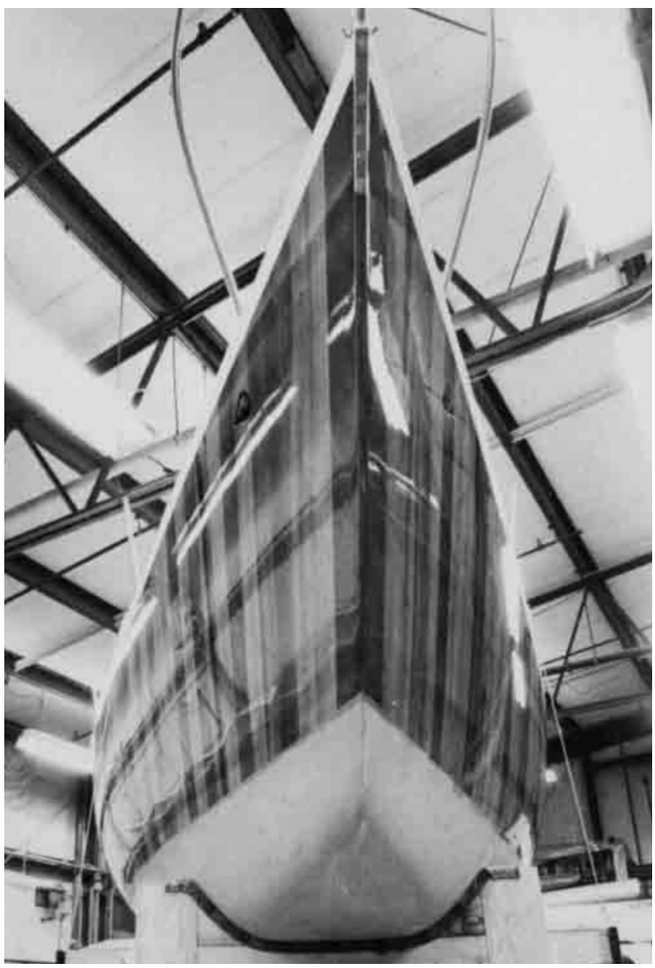


Bild 11.8 – Hochglanzlackierung der lOK Halbtonneryacht HOT FLASH.

Oberfläche, und wir empfehlen, hierfür wirklich nur Pinsel von erster Qualität zu benutzen. Der „Streicher“ sollte dem „Roller“ dicht auf den Fersen folgen, so daß die Zeitspanne zwischen erstem Farbauftrag und endgültigem Finish so kurz wie möglich ist. Dadurch kann der Lack zu einem gleichmäßigen Film verlaufen, bevor die Verdunstung beginnt. Farben und Lacke enthalten normalerweise 40 bis 60% Lösungsmittel und der größte Teil davon verdampft, bevor die Farbe aushärtet. Diese Lösungsmittel spielen eine Schlüsselrolle beim Finish der Oberfläche. Sobald der Lack aufgetragen wird, beginnt die Verdunstung mit der Aushärtung oder dem Auftrocknen des Lackfilmes. Die Schnelligkeit, mit der das Lösungsmittel verdunstet, ist entscheidend für den Aufroll- oder Anstrichprozeß. Verdunsten die Lösungsmittel zu schnell, kann der Lackfilm nicht gleichmäßig verlaufen und die Pinselstriche oder Rollenmarkierungen bleiben an der Oberfläche sichtbar. Wird zuviel Lösungsmittel benutzt, verliert die Farbe an Viskosität, was zu einer dünneren Farbschicht führt, die nicht die erwartete Deckkraft oder den Glanz erreicht. Es sollte folgende Regel gelten: Gerade ausreichend viel Verdünnung benutzen, daß die Farbe entsprechend fließt – und nicht mehr. Wird die Lackierung bei großer Hitze ausgeführt, ist die Verdunstung entsprechend hoch und es muß mehr Verdünnung beigemischt werden. Die Farbhersteller bieten außerdem schnell und langsam reagierende Verdünner an, um dieses Problem in den Griff zu bekommen.

Im Verlaufe der Lackierungsarbeiten hat der „Streicher“ das beste Gefühl dafür, wie sich die Farbe verhält. Wenn sie sich unter dem Pinsel „zieht“, muß etwas Verdünnung beigegeben werden. Normalerweise kann man sie direkt in die Ausrollwanne gießen und mit Rolle oder Pinsel vermischen. Es sollte jeweils nur eine kleine Dosis beigegeben werden, in den entsprechenden zeitlichen Abständen.

Wird in der beschriebenen Weise mit Rolle und Pinsel gearbeitet, reichen normalerweise zwei Anstriche, um einen gut deckenden Lackfilm zu erzeugen. Beim ersten Anstrich erwirbt man zugleich die notwendige Erfahrung. Entstehen hierbei Tränen, blinde Flecken oder andere Fehler, kann man sie beim zweiten Anstrich noch gut korrigieren. Tränen bereiten die größten Schwierigkeiten. Da man die Fläche aber vor dem zweiten Anstrich normalerweise noch einmal leicht überschleift, lassen sie sich in diesem Arbeitsgang mit entfernen. Sie sind also kein ernstes Problem. Beim zweiten Anstrich sieht die Sache anders aus. Wenn sich hierbei Tränen bilden, kann man nur hoffen, daß man sie rechtzeitig erkennt, um sie auszurollen oder auszustreichen, bevor die Farbe auszuhärten beginnt. Hierzu muß der Pinsel frei oder fast frei von Farbe sein, denn wir wollen ja nicht zusätzlichen Lack auftragen, sondern überschüssigen entfernen.

Mit den LP-Typen der PU-Lacke erhält man eine gute Bindung zwischen den einzelnen Schichten, auch ohne Zwischenschliff, sofern man den zweiten Anstrich innerhalb von 36 Stunden aufbringt. Um aber die beste Oberflächengüte zu erreichen, empfiehlt es sich auch hier, nach dem ersten Anstrich leicht zwischenzuschleifen, da doch etwas Staub mit in die Oberfläche eingebettet wird und auch die Pinselstriche nicht absolut einwandfrei verlaufen werden. Ein Zwischenschliff ist also immer die beste Vorbereitung für die Endlackierung.

Kapitel 12

Synthetische Fasern und WEST SYSTEM Epoxid

Es gibt viele Bereiche im Holzbootsbau, in denen wir und viele andere erfolgreich synthetische Fasern zur Verstärkung der Konstruktion und Verbesserung der Gesamteigenschaften verwendet haben. Die Verstärkung durch synthetische Fasern ist besonders dort wirkungsvoll, wo die Abmessungen beschränkt sind. Schwerter, Ruder und Masten sind Bauteile, in denen dichtere, hochfeste Fasern mit Holz zusammen verarbeitet werden können, um die Eigenschaften zu verbessern.

Ein typisches Beispiel für eine ausgezeichnete Verbindung zwischen Holz und synthetischen Fasern ist der leisten gepIankte Rumpf, der mit Glasfasern überzogen wird (siehe Kapitel 20). Bei typischeren Holz/WEST SYSTEM Epoxid-Bauweisen werden synthetische Fasern regelmäßig verwendet, um die Dauerhaftigkeit von Rümpfen und Decks gegen Abrieb und Schlagbeanspruchung durch die dichtere Oberfläche zu verbessern. Das erreicht man durch das Beschichten des Bootes mit einem Gewebe, das mit Epoxidharz getränkt wird. Glasfasern sind die bei weitem wichtigsten und auch üblichen synthetischen Fasern, da sie billig, überall verfügbar und in verschiedenen Flächengewichten und Web arten angeboten und darüberhinaus noch einfach zu verarbeiten sind. Kohlenstoff- und Aramidfasern werden jedoch zunehmend dort verwendet, wo die Steifigkeit eines Bauteils an der kritischen Grenze liegt.

Die Entscheidung, eine Faserbeschichtung oder eine Verstärkung durch synthetische Fasern anzuwenden, sollte sehr sorgfältig getroffen werden, mit besonderer Beachtung der zusätzlichen Kosten und des mit dieser Bauweise verbundenen Gewichts. Theoretisch gibt es unendliche Variationsmöglichkeiten, um Holz, synthetische Fasern und Epoxid zu einem Bauteil zusammenzufügen. Man sollte sehr vorsichtig sein, wenn man eine Mischung von Materialien in einen neuen Kompositwerkstoff plant, da die mechanischen Eigenschaften sehr unterschiedlich sein können. Eine Kombination, die eine besondere Steifigkeit ergibt, kann z.B. nur eine niedrige Schlagbeanspruchung haben; ein möglicherweise hochfestes Laminat kann wiederum eine geringe Querfestigkeit und interlaminare Scherfestigkeit aufweisen.

Bedauerlicherweise gibt es für die meisten Komposite keine Dimensionierungsrichtlinien und nur wenige Versuchswerte, die als Anhalt dienen können. Einige Ergebnisse von statischen und Dauerfestigkeitsversuchen von verschiedenen Holz- und Glasfaserlaminaten werden in Anhang Bund D gegeben. Diese Daten kann man bei der Planung von Kompositlaminaten benutzen. Wir empfehlen jedoch, bei der Entscheidung Materialexperten hinzuzuziehen und auch direkte Versuche durchzuführen, die sich sicherlich auszahlen, bevor man endgültige Entscheidungen über die Dimensionierung bei einem bestimmten Boot trifft.

Übersicht über synthetische Fasern und Gewebe

Sowohl synthetische wie Naturfasern können zusammen mit WEST SYSTEM Harz im Bootsbau verwendet werden. Bereits *ein* Überzug eines hölzernen Bauteils mit synthetischen Fasern bei Raumtemperatur kann hervorragende Ergebnisse liefern. Die charakteristischen Festigkeitseigenschaften des Holzes werden allerdings bei dieser Art von Kompositbau vorherrschen. Synthetische Fasern sind recht dauerhaft und die meisten von ihnen haben ein gutes Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht. Es kann allerdings Schwierigkeiten bereiten, sie mit den üblichen Holzmaschinen zu bearbeiten.

Glasfasern, Kevlar^{R}, Aramid und Graphit sind weitverbreitete moderne Fasermaterialien, die auch im Bootsbau verwendet werden. Glasfasern, die als E-Glas oder S-Glas angeboten werden, sind dichter, haben aber eine geringere Steifigkeit und Zugfestigkeit als Kevlar oder Graphit. Allerdings ist wiederum die Schlagfestigkeit höher als bei Graphit. Kevlar 49 hat eine höhere Schlag- und Zugfestigkeit als Glasfasern und Graphit und hat den höchsten Wert von Festigkeit zu Dichte aller Fa-

sern, aber es ist wiederum sehr schwach in bezug auf Druck. Graphit, auch Karbonfaser genannt, hat den höchsten Wert von Steifigkeit zu Dichte von allen dreien.

Da also Glasfasern, Aramid und Graphit ganz klare positive Eigenschaften, aber auch Schwächen haben, ist es verhältnismäßig leicht, sich zwischen ihnen zu entscheiden. Die Glasfasern, die im Trockenzustand weiß und undurchsichtig sind, werden nach dem Tränken mit Harz durchscheinend. Kevlar und Graphit sind ge1b bzw. schwarz und eignen sich daher nicht für das Überziehen von Booten mit Klarlackierung. Die hohe Zugfestigkeit und Schlagzähigkeit des Kevlar kann man ausnutzen; bei hoher Druckbelastung ist es allerdings nicht empfehlenswert. Kevlar kann man absolut nicht glatt schleifen, es fasert dabei aus. Obwohl der Preis von Aramid im Vergleich zu Kohlenstoffasern niedrig liegt, ist es doch erheblich teurer als Glas. Graphit läßt sich immer dann sinnvoll einsetzen, wenn man kleine oder besonders kompliziert geformte Teile bauen muß, die eine hohe Steifigkeit aufweisen sollen, aber die Brüchigkeit und der Preis begrenzen die Anwendung.

Im Bootsbau werden aber noch drei weitere Fasertypen verhältnismäßig häufig verwendet. Dynel^{R} (Acryl), Polyester- und Polypropylenfasern sind Materialien mit einem niedrigen E-Modul, die sich unter Belastung sehr viel stärker dehnen als Glasfasern. Eine Theorie besagt, daß dies von Vorteil sein kann, wenn der Rumpf durch einen scharfen Gegenstand getroffen wird – eine äußere Hülle aus diesem Material kann sich sehr viel stärker strecken, und die Schutzschicht bleibt intakt, auch wenn die darunter liegende Bootshülle verletzt ist. Unter normalen Betriebsbedingungen tragen diese Materialien jedoch recht wenig zur Gesamtfestigkeit bei: sie erhöhen das Gewicht, aber sie bringen keine zusätzliche Festigkeit oder Steifigkeit in das Boot. Eine Alternative besteht darin, Kevlar zu benutzen, das eben durch zusätzliche Festigkeit und Steifigkeit den Verbund verstärkt, wenn Glasfasern keine ausreichende Schlagzähigkeit liefern können. Kevlar wird allerdings die Baukosten des Rumpfes in die Höhe treiben.

Dynei, Polyester und Polypropylen sind verhältnismäßig billig im Vergleich zu anderen Verstärkungsfasern, ihre Anwendung ist allerdings nicht immer ganz einfach. In einigen Fällen werden sie durch das Tränken mit Harz nicht transparent. Sie haben außerdem die Tendenz, im Harz zu schwimmen, was wiederum zu Unregelmäßigkeiten in der Oberfläche führt, die nur durch Schleifen zu beheben sind. Da sich diese Fasern aber nur schwer abschleifen lassen, ist das ein aufwendiges Unterfangen.

Alle diese synthetischen Fasern werden in verschiedener Form angeboten. Glas z.B. wird als Glaskurzfaser, Glasseidenmatte, Roving- und Glasseidengewebe mit gedrehten und ungedrehten Garnen verkauft. Glasseidengewebe werden nach Gewicht angeboten. Ein 300er Glasseidengewebe hat also ein Flächengewicht von 300 g/m^2. Die Webart beeinflußt sowohl das Gefühl wie auch die mechanischen Festigkeiten, besonders in bezug auf die Dauerfestigkeit, da an den Kreuzungspunkten die Garne besonders hoch belastet werden. Gewebtes Material ist besser als die aus kurzen Fasern bestehende Matte, da die Fasern definiert in bestimmten Richtungen angeordnet sind. Gedrehte Garne sind schwächer als ungedrehte, weil die Filamente bereits durch den Spinnvorgang gebrochen sein können. Unidirektionalgewebe liefern die besten Werte, da die Fasern parallel zueinander liegen.

Die meisten synthetischen und Naturfasern werden einer Oberflächenbehandlung unterzogen, um sie vor Feuchtigkeit zu schützen und die Verarbeitung zu vereinfachen. Für Glas werden verschiedene Arten eines sogenannten „Finish“ benutzt, von denen einige sich mit dem Epoxidharz besser vertragen als andere. Amino-Silan-Schlichten eignen sich besonders für Epoxidverarbeitung, während die weiterverbreitete Volan-Schlichte sich besser für die Polyesterverarbeitung eignet. WEST SYSTEM Epoxidharze binden auch auf Volan-behandelten Glasfasern gut ab, die Ergebnisse sind aber bei den Schlichten der Silangruppe erheblich besser.

Eine Kombination von Holz und Verstärkungsfasern kann man vorteilhaft nutzen, um sowohl die Stärken wie auch die Schwächen der Fasern auszunutzen. Wenn man z.B. einen Rumpf wegen der erhöhten Schlagzähigkeit mit Kevlar beschichtet, muß man meistens zusätzlich noch eine äußere Glaslage aufbringen, um die Aramidfasern beim Schleifen nicht zu zerstören. Wie wir noch ausführlicher in Anhang D erklären werden, kann man zwei oder mehr Lagen synthetischer Fasern auf ein Holzlaminat aufbringen oder sie zwischen den Schichten des Holzes einfügen. Will man die Schlagzähigkeit einer Außenhaut verbessern, ist es sinnvoller, eine Lage Kevlar dicht an die Innenseite des Rumpfes zu bringen, wo sich die Belastungen als Zug auswirken und wo es keine Probleme mit dem Schleifen gibt. Eine Glaslage kann dann auf der Außenseite aufgebracht werden.

Das Dauedestigkeitsverhalten synthetischer Fasern

Während wir das Dauerfestigkeitsverhalten von Holz prüften, lief gleichzeitig ein weiteres NASA-Programm, in dem die Dauerfestigkeit verschiedener Glasfaser-Komposite untersucht wurde. Hieraus lassen sich mehrere Schlußfolgerungen über Glasfasern und die zu ihrer Verbindung benutzten Harze ziehen.

Die Harze spielten bei hohen Lastwechselzahlen eine erhebliche Rolle bei der Dauerfestigkeit. Bei einmaliger Belastung bis zum Bruch lagen Polyesterlaminate etwa 8% höher als die mit Epoxidharzen hergestellten, allerdings nur bei statischer Belastung. Bei hohen Lastwechselzahlen kehrten sich die Verhältnisse um: Das Polyesterlaminat wies weniger als 19% der ursprünglichen statischen Belastbarkeit auf (siehe Anhang B).

Die Schädigung eines Glasfaserlaminats geschieht in zwei typischen Schritten. Sehr früh, sogar bereits nach den ersten Belastungen, treten Brüche in der Matrix auf und es kommt zu kleinen Delaminierungen, im wesentlichen wegen des niedrigen E-Moduls der Glasfaser. Nach etwa 100.000 Lastwechseln – oder wenn das Boot etwa alle drei Sekunden einer Wechselbelastung durch Wellen ausgesetzt ist, also nach etwa 83 Stunden Segeln – wird die Glasfaser, die sich nun von den kleinen Unregelmäßigkeiten befreit hat, zum tragenden Teil des Laminats, bis es schließlich zum endgültigen Versagen kommt. Zu dem sehr frühen Zeitpunkt, in dem bereits die ersten kleinen Brüche in der Matrix auftreten, führt das zu einem erheblichen Verlust an mechanischer Festigkeit, einschließlich der Steifigkeit. Dies ist sicherlich der Grund, warum einige GFK-Rennboote nach kurzer Zeit „weich“ werden. Der Einfluß des Seewassers auf die Dauerfestigkeit von Glasfaserlaminaten ist noch nicht voll erforscht. Es scheint jedoch, daß der Einfluß des Salzwassers die Festigkeitswerte eines Laminats wesentlich beeinträchtigt.

Anwendung von Glasseidengewebe

Glasgewebe wird regelmäßig in Bereichen benutzt, wo hohe Abriebfestigkeit gefordert wird. Wir verwenden es auf den Innenseiten von Schwertkästen, bei einziehbaren Ruderblättern und um Schwerter und Ruder zu beschichten, die in diesen Gehäusen laufen, da hierdurch eben die Abriebfestigkeit und die Festigkeit des Bauteils selbst erhöht wird. Auch die Stirnholzseite einer angeschnittenen Sperrholzplatte kann mit Glasgewebestreifen geschützt werden. Verbindungen in Bereichen, die häufig betreten werden, beschichten wir ebenfalls oftmals mit Glasgewebestreifen. In Kapitel 22 erörtern wir die Verwendung von Glasgewebestreifen bei Sperrholzbooten.

Obwohl wir nicht immer Glasfasergewebe auf hochwertigem Bootsbausperrholz benutzen, halten wir es für nötig, weiche oder Schälfurniere auf den Außenseiten durch eine solche Schicht abzudecken. GFK kann z.B. Sperrholz aus Douglas Fir in bezug auf die Verarbeitung und die Dauerhaftigkeit verbessern. Eine Glasschicht verhindert außerdem, daß sich die Oberfläche fleckig verfärbt, was bei Sperrholz mit einer Fichten-Deckschicht häufig geschieht. Boote mit einer Außenhaut aus Rotzeder haben eine sehr weiche Oberfläche. Eine Lage Glasgewebe wirkt als Schutzschicht und hilft dabei, eine gleichmäßige Harzbeschichtung zu garantieren und erzeugt zugleich eine dauerhaftere Oberfläche. Ohne diese Glasschicht würde man sehr viel vom Epoxidharz wegschleifen und sehr wenig für den Schutz der Holzoberfläche stehenlassen.

Glasgewebe ist aber auch zur Verbesserung der Festigkeit sinnvoll. Bei leistengeplankten Booten wird die Gesamtfestigkeit und Steifigkeit des Rumpfes auf diese Weise erhöht. Bei anderen Bauweisen verstärkt die Glasschicht die lokale Festigkeit und Steifigkeit, besonders dort, wo die Belastungsrichtungen nicht mit der Faserrichtung des Holzes identisch sind, oder an Stellen, an denen eine zusätzliche Verstärkung erwünscht ist, um die ungleiche Anzahl der Sperrholzschichten zu neutralisieren. Eine hölzerne Aufdopplung verstärkt natürlich ebenfalls die Festigkeit und Steifigkeit, und es ist oftmals sinnvoller, diese Methode zu benutzen. In Bereichen jedoch, in denen die Abmessungen begrenzt sind, besteht hierfür nicht immer. genügend Spielraum.

Mit Glaslagen kann man z.B. aus einer 5-schichtigen Sperrholzplatte sehr leicht eine 7-schichtige herstellen, wobei man gleichzeitig die Lagen mit dem höheren Elastizitätsmodul in einen Bereich verlegt, der weiter von der neutralen Faser entfernt ist. Wird eine gekrümmte Platte mit GFK beschichtet, so ist diese Beschichtung zunächst unbelastet, während die Platte darunter ja bereits vorgespannt ist. Die Glasgewebe unterstützen die Formstabilität der Platte, außerdem läßt sich so die Anzahl der Stringer verringern. Werden Glasgewebe von der neutralen Faser entfernt zwischen die einzelnen Holzlagen gelegt, wird damit wenigstens zum Teil das Rückstellvermögen des Holzes aufgehoben. Bei anderen Anwendungsgebieten werden der Schrumpf quer zur Faserrichtung des Holzes oder das Quellen und Splittern verhindert.

Wir benutzen oftmals ein leichtes Glasseidengewebe von 135 bis 200 g/m², um die vielen hundert kleinen Klammerlöcher auf den Außenseiten eines handlaminierten, formverleimten Rumpfes abzudecken. Hierzu beschichten wir den Rumpf, lassen das Harz zunächst aushärten und schleifen es leicht an. Das Epoxidharz versiegelt die Klammerlöcher, so daß sie nicht mehr so viel Harz aufsaugen, wenn die Glasschicht aufgebracht wird. Dann legen wir das Glasgewebe in der üblichen Art auf.

Bei klarlackierten Booten kann eine leichte Glasseidenschicht besonders nützlich sein. Genauso wie das Glasgewebe die Klammerlöcher verdeckt, gleicht es auch kleine Unebenheiten aus, und das Gewebe hält das Harz in den kleinen Vertiefungen fest, bis es ausgehärtet ist. Diese Fehlstellen und kleinen Lunker können natürlich auch mit eingefärbtem Harz gefüllt werden – ein Verfahren, das man bei größeren Unebenheiten benutzt – aber das Ergebnis ist natürlich eine recht unansehnliche Oberfläche. Vorschläge, wie man größere Fehler behandelt, werden später in diesem Kapitel gemacht.

Obwohl Glasfasern billiger sind als Kevlar und Graphit, sind sie doch teurer als Holz, und die Anwendung ist zeitraubend. Um zu entscheiden, ob sich bei einem bestimmten Vorhaben die Verwendung eines solchen Gewebes auszahlt, sollten Probestücke der Flächen hergestellt werden, wie man sie beim späteren Bootsbau plant. Man muß den Nutzen einer Beschichtung sehr genau gegen den Gewichtszuwachs, die verbesserte Steifigkeit und Festigkeit, Abriebfestigkeit und Schlagzähigkeit wiederum gegen die Schwierigkeiten bei der Auftragung der Schutzschicht abwägen.

Obertlächenvorbereitung für Faserverstärkungen

Bevor irgendeine Beschichtung oder ein Gewebe aufgebracht wird, muß das Boot zunächst mit WEST SYSTEM Epoxid getränkt werden (siehe Kapitel 11). Dann werden alle Fehlstellen und kleinen Lunker mit an gedicktem Harz gefüllt, wofür man einen niedrigdichten Füller benutzt. Dieser erste Anstrich muß nicht vollständig ausgehärtet sein; wenn aber Spachtel auf die Epoxidfläche aufgebracht wird, während sie noch flüssig ist, wird dies die Oberflächengüte beeinträchtigen und später mehr Schleifarbeit erfordern. Einige Bootsbauer ziehen es daher vor, diesen ersten Anstrich voll aushärten zu lassen und ihn dann leicht anzuschleifen, bevor das Auffüllen der Lunker vorgenommen wird. Eine glattere Oberfläche erlaubt ein sorgfältigeres Spachteln und zahlt sich durch geringere Schleifarbeit später aus.

Bei hochglänzenden Bootsrümpfen versuchen wir, diese kleinen Lunker so unauffällig wie möglich aufzufüllen, wobei wir die ganz kleinen Löcher einfach ignorieren und uns darauf verlassen, daß bei der Glasbeschichtung das Harz diese Stellen mit auffüllt. Manchmal mischen wir das Harz auch mit Füllstoffen und anderen Beimengungen, so daß sich eine Farbe ergibt, die dem umgebenden Holz recht ähnlich ist, wenn es um das Ausgleichen größerer Fehlstellen geht. Bei anderen Gelegenheiten mischen wir etwa 50 g Epoxidharz an, üblicherweise mit dem langsamen Härter, und lassen es etwa eine 3/4 Stunde bei 200° C stehen, bis es sich zu einer dicken, pastenartigen Konsistenz verändert hat, die dann direkt in die kleinen Lunker eingebracht wird. Um das Harz am Abtropfen zu hindern, überdecken wir diese „Spachtelmasse“ mit einem Stückchen Polyäthylenfolie und drücken sie so an, daß die Oberfläche wieder glatt ist. Wenn das Epoxidharz ausgehärtet ist, entfernen wir die Folie und schleifen die Oberfläche wieder plan. Wir versuchen immer, bei naturlackierten Booten ein Schleifen auf der ersten Beschichtung der Oberfläche zu vermeiden, da die geschliffenen Flächen später heller er-

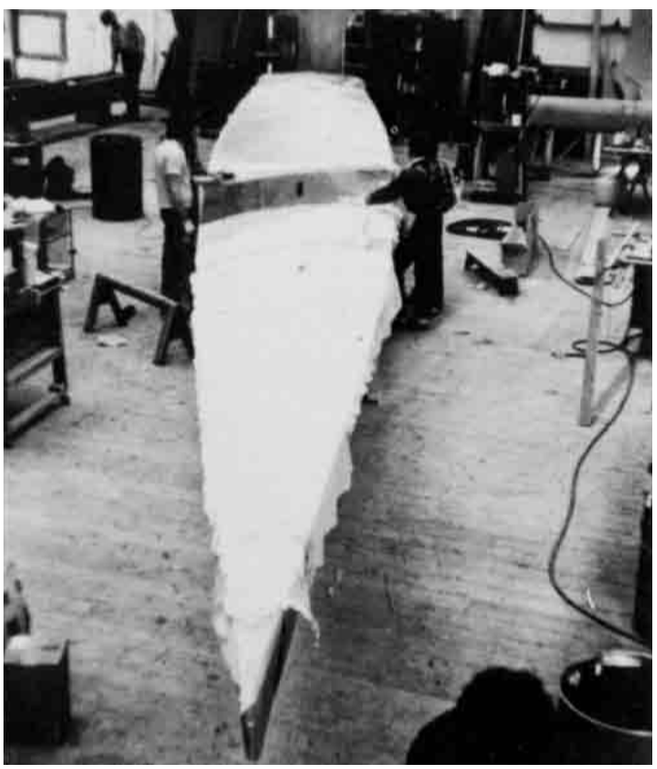


Bild 12.1 – Glasgewebe-Beschichtung auf dem Deck der 18,30 m-Proa SLINGSHOT nach der trockenen Methode. Das Glas im Bereich des Schwertkastens ist bereits getränkt.

scheinen (diese Farbunterschiede verwischen sich aber mit der Zeit).

Wenn die erste Beschichtung und der nachfolgend aufgetragene Spachtel ausgehärtet sind, wird die Oberfläche leicht übergeschliffen. Dann werden die gespachtelten Stellen noch einmal stärker nachgeschliffen, bis die Beschichtung insgesamt gleichmäßig dick und glatt ist. Wir benutzen hierzu eine elektrische Poliermaschine mit einem 150 mm Schaumteller mit 80er Aluminiumoxyd-Schleifpapier, aber ein einfacher Schleifklotz mit 50er oder 80er Papier ist ebenfalls geeignet. Danach wird die Oberfläche abgesaugt oder – gefegt, um alle Reste des Schleifstaubs zu entfernen. Partikel von der Größe eines Sandkorns reichen bereits, um Luftblasen zwischen Holz und Beschichtung einzufangen, was zu schwerwiegenden Problemen in der Verbindung führt.

Das Aufbringen des Gewebes

Alle Gewebe werden in etwa auf die gleiche Art und Weise aufgebracht. Soweit möglich, benutzen wir die „trockene“ Methode. Bei senkrechten oder über Kopf liegenden Flächen ist das leider nicht möglich und wir wenden dort die „nasse“ Methode an. WEST SYSTEM schneller Härter empfiehlt sich für alle Flächen, die später naturlackiert werden, aber manchmal reicht die Zeit nicht, um die nasse Methode zu benutzen. In diesem Fall muß man dann doch zu dem langsamen Härter übergehen, da er eine längere offene Zeit hat.

Ist die Oberfläche relativ eben, legt man den Gewebeabschnitt auf und glättet alle Falten. Mit Heftklammern oder Klebestreifen wird die Beschichtung arretiert, wobei sie an den Kanten leicht überlappen sollte. Dann wird das Epoxidharz direkt auf das Gewebe aufgegossen. Man sollte immer nur kleine Gebinde Harz anrühren und die Mengen vergrößern, sowie sich die Erfahrung einstellt. Mit einem Spachtel wird das Harz dann verteilt und Stellen überschüssigen Harzes ausgedrückt. Der Druck muß ausreichend sein, aber wiederum nicht so fest, daß man das Gewebe verschiebt.

Bild 12.2 – Eine Polypropylen-Folie wird nach der nassen Methode am Rumpf eines 13,7 m langen Auslegers angebracht.

Die trockene Methode hat klare Vorteile. Man kann das Harz sehr gut kontrollieren und braucht sich nicht so zu beeilen, da immer nur kleine Mengen verarbeitet werden. Bei dieser Technik wird das Harz niemals aushärten, bevor man es gleichmäßig verteilt hat. Bei der nassen Methode dagegen ist Geschwindigkeit eine Vorraussetzung für ein Gelingen. Hierzu braucht man eine gute Planung und wenigstens drei Leute.

Bei Arbeiten an vertikalen Flächen oder über Kopf wird das Gewebe zunächst nach Maß zugeschnitten und dann wieder auf die Papprolle aufgerollt, da es sich hiermit später besser aufbringen läßt. Danach werden Harz und Härter gemischt und auf die Oberfläche aufgetragen. Anschließend muß man abwarten, bis das Harz anfängt, sich zu verfestigen. Dann wird das Gewebe eingelegt. Die Oberflächenspannung hält das Gewebe üblicherweise in der gewünschten Position; wenn man allerdings schweres Gewebe über Kopf anbringen muß, empfiehlt es sich, Heftklammern zuhilfe zu nehmen. Wir sind der Meinung, daß dieser ganze Vorgang sehr viel sicherer abgewickelt werden kann und erfolgreicher sein wird, wenn eine Person die Rolle mit dem Gewebe hält, während zwei andere das Gewebe auf der Fläche andrücken und gleichzeitig die Falten herausstreichen. Sobald das Gewebe seine endgültige Position hat, wird zusätzlich Harz aufgetragen. Das Gewebe wird vollständig getränkt, gleichzeitig werden die Luftblasen mit dem Spachtel wie bei der trockenen Methode herausgedrückt.

Bei der nassen Methode ist die Fläche, die man in einem Arbeitsgang bearbeiten kann, durch die Topfzeit, aber auch durch die Anzahl der Mitarbeiter begrenzt. Verwendet man den langsamen Härter, hat man vom Beschichten der Oberfläche bis zu den letzten Feinarbeiten an dem Überzug etwa eine Stunde zur Verfügung. Normalerweise reicht das vollständig aus, aber wenn man keine Erfahrung hat oder Schwierigkeiten bekommt, seine Freunde zu überzeugen, daß diese Arbeit Spaß macht, sollte man doch mit kleineren Flächen anfangen und die größeren erst dann in Angriff nehmen, wenn man mehr Erfahrung gesammelt hat.

Ob man nun die trockene oder nasse Methode benutzt: Das Wichtigste beim Einpressen des Har-

zes mit dem Spachtel besteht ja darin, einmal das Gewebe zu tränken, gleichzeitig aber das Harz gleichmäßig zu verteilen und überschüssige Mengen herauszustreichen, denn das Glas soll ja nicht im Harz schwimmen. Mit dem Spachtel treibt man gleichzeitig Luftblasen aus dem Harz oder zwischen Harz und Gewebeschicht heraus. Eine gut angedrückte Fläche sieht nach der Bearbeitung matt aus und das Gewebe sollte etwa zu 2/3 der Faserhöhe gefüllt sein. Zu diesem Zeitpunkt sollte man nicht versuchen, es bis oben hin aufzufüllen – das erreicht man leichter mit einem späteren Anstrich. Man muß darauf achten, daß das Gewebe gleichmäßig getränkt wird und keine trockenen Stellen aufweist. Diese trockenen Bereiche sind nicht ganz leicht zu erkennen, aber meistens sehen sie etwas weißer aus als die Umgebung. Besonders wichtig ist es, solche Bereiche an Bootsrümpfen zu vermeiden, die später naturlackiert werden sollen, da sich die Gewebestruktur abzeichnet, wenn das Glas nicht vollständig getränkt ist.

Bild 12.3 – Das Tränken eines Glasseidengewebes am Flügelmast der Proa SLINGSHOT. Hierfür wurde ein Gewebe von 135 g/m² benutzt und mit der Rolle getränkt.

Gerade bei Glasbeschichtungen auf Booten, die später naturlackiert werden sollen, muß man besondere Sorgfalt verwenden. Leichtes Gewebe wirkt später klarer in der Oberfläche als schweres. Ein Gewebe von 135 g/m² wird wirklich völlig transparent; bei einem 200er Gewebe kann es vorkommen, daß einzelne Glasfasern erkennbar sind. Die Rolle mit dem Glasgewebe sollte vor der eigentlichen Benutzung mit Sorgfalt behandelt werden, um Brüche einzelner Fasern zu verhindern. Wenn das Glas auf der Rumpfoberfläche aufgebracht ist, kann man lose Fasern noch einmal mit einem Staubsauger entfernen. Lösen sich Glasfasern beim Auftragen des Harzes und vermischen sich mit ihm, wird die Fläche unansehnlich. Es empfiehlt sich also, immer mit kleinen Mengen zu arbeiten und auch nur mäßig stark mit dem Spachtel anzudrücken. Wenn dies Aufspachtein Schwierigkeiten macht, sollte man die Kanten runden. Treten milchige Stellen auf, die auf gebrochene Glasfasern hinweisen, sollten diese aus der noch nassen Oberfläche herausgeschnitten werden.

Eine milchige Oberfläche nach dem Aushärten kann durch kleine Luftblasen im Harz hervorgerufen worden sein, die während des Tränkens mit eingefangen wurden. Das Harz beginnt auszuhärten und sich zu verfestigen und sowie die Oberflächenspannung steigt, werden winzig kleine Blasen im Harz gefangen. Um diese Luftuntermischung zu vermeiden, sollten kleine Harzgebinde benutzt werden. Außerdem ist der Auftrag mit dem Spachtel ungefährlicher als mit der Rolle.

Die Gewebebeschichtung läßt sich am besten im teilgehärteten Zustand bearbeiten, d.h. nach etwa zwei bis drei Stunden bei Benutzung des schnellen Härters. Es ist sehr viel schwieriger, überflüssiges Gewebe zu entfernen, wenn das Harz vollständig ausgehärtet ist, und es wird schwer sein, es dort von der Oberfläche zu entfernen, wo es unerwünscht ist. Zum Beschneiden der Gewebekanten reicht ein scharfes Messer, das man hin und wieder in Lösungsmittel reinigt.

Normalerweise beschichten wir Rümpfe, indem wir die Hälfte des Rumpfes in einem Arbeitsgang überziehen, wobei wir im Kielbereich eine Überlappung von einigen Zentimetern vorsehen. Eine unregelmäßige Überlappung kann später beim Schleifen Probleme ergeben, daher beschneiden wir die überstehende Seite so, daß sie wirklich parallel zur Kiellinie liegt. Um das zu erreichen, schneiden wir an einer dünnen Latte, die parallel zum Kiel gehalten wird, das Gewebe mit einem scharfen Messer ab. Dann wird das Gewebe auf der anderen Seite angebracht und wiederum einige Zentimenter auf die andere Seite laminiert, so daß wir insgesamt etwa eine verstärkte Zone von 10 cm Breite erreichen. Diese zusätzlichen Lagen schützen den Kiel, der ja doch verstärkter Beanspruchung ausgesetzt ist. Eine Überlappung in anderen Bereichen des Rumpfes ist nicht sinnvoll.

Wenn das Gewebe auf der Rolle plötzlich zuende ist und man mitten in der Arbeit mit einer neuen Rolle anfangen muß, kann das Probleme geben. Eine Überlappung wird immer eine Verdickung bilden, die dann hinterher gespachtelt und geschliffen werden muß, andererseits ist es sehr schwierig, zwei Gewebekanten ohne Unregelmäßigkeiten miteinander auf Stoß zu verarbeiten. Wir haben herausgefunden, daß die beste Lösung für dies Problem darin besteht, die beiden Kanten sehr sorgfältig mit so wenig Überlappung wie möglich übereinanderzulegen und sie dann mit dem Spachtel anzudrücken. Wenn das Harz dann teilweise gehärtet ist, schneiden wir mitten durch diese Überlappung und ziehen das überstehende Ende ab, heben die Seite des Gewebes leicht an, um den Rest der darunterliegenden Lage zu entfernen und drücken beide Teile wieder an. Man braucht nur etwas zusätzliches Harz, um die Stelle damit zu überdecken.

Sobald das Harz dick wird, also zu härten beginnt, kann man es mit einem normalen Schaumroller nachtränken. Mit dem ersten Auftrag wird man die Gewebestruktur wahrscheinlich nicht vollständig auffüllen können. Man sollte diese Lage härten lassen, sie dann wieder leicht anschleifen, wobei man darauf achten muß, daß man nicht zu stark schleift. Man sollte gar nicht erst versuchen, eine vollständig glatte Oberfläche zu erzeugen – es reicht, wenn man die unregelmäßigen und leicht hochstehenden Stellen herunter schleift, so daß die nächste Lage Harz eine glattere Oberfläche ergibt und später der Abschlußschliff nicht so aufwendig wird. Normalerweise bringen wir noch zwei weitere Harzanstriche in schneller Folge vor dem abschließenden Schleifen auf, ein weiterer Anstrich kann aber manchmal auch ausreichen. Das Gewebe sollte satt überstrichen werden, um sicherzustellen, daß später keine Fasern über die Harzschicht hinausragen und damit zugleich die Dampfsperre, die das WEST SYSTEM Epoxidharz bildet, eingeschränkt wird. Als letztes wird die Oberfläche beschichtet und mit einem Endanstrich versehen, wie in Kapitel 11 beschrieben.

Die Anwendung unidirektionaler Graphitfasem

WEST SYSTEM Unidirektionale Graphitfasern lassen sich sinnvoll bei Masten, Rudern, Schwertern und anderen Bauteilen anwenden, wo hohe Festigkeit und Steifigkeit notwendig, die Abmessungen dagegen begrenzt sind. Sie werden in etwa 25 mm breiten unidirektionalen Gelegen geliefert, die ca. 40.000 feine, schwarze Fasern enthalten. Sie sind mit Papierzwischenlagen wegen der besseren Handhabung aufgerollt.

Um die Oberfläche für die Aufnahme von Graphitfasern vorzubereiten, muß diese sauber sein und zunächst mit einer Schicht WEST SYSTEM Harz getränkt werden (siehe Kapitel 11). Wenn das Harz ausgehärtet ist, werden die Oberflächenlunker mit einem Gemisch aus Harz und Quarzmehl ausgefüllt. Auch diese Mischung muß aushärten. Die Oberfläche wird dann geschliffen und geglättet und erneut besonders sorgfältig gesäubert. Bevor man z.B. Aluminiummasten mit Graphitfasern beschichtet, sollte das Aluminium mit dem WEST SYSTEM Ätzmittel behandelt werden. Unebenheiten und Löcher im Aluminium kann man mit einer Mischung aus Epoxidharz und Quarzmehl auffüllen und anschließend schleifen, aber eine vorherige Beschichtung mit Epoxid ist unnötig.

Danach wird eine ausreichende Menge Epoxidharz auf die Oberfläche aufgetragen. Die Menge soll so großzügig bemessen sein, daß die Graphitfasern bereits teilweise getränkt werden, wenn man sie, einlegt. Wenn lange Stränge verlegt werden müssen, läßt sich die Rolle mit dem Graphitgelege am besten durch ein Stück Holz führen, das die Rolle hält, während man mit der zweiten Hand die Graphitfasern andrückt. Dann wird zusätzliches Epoxid auf die Fasern aufgetragen und leicht eingearbeitet, bevorzugt wiederum mit einem weichen Spachtel. Sind sie voll getränkt, wird der Druck etwas erhöht. Anschließend wird das Harz mit einem festen Pinsel in und zwischen die Fasern eingearbeitet. Das geht leichter vonstatten, wenn man das Harz mit einem Föhn anwärmt, während man die Fläche bearbeitet. Erscheint die Graphitfaser sorgfältig gesättigt, folgt noch einmal eine visuelle Probe.

Werden die Graphitstränge an vertikalen Flächen oder über Kopf verarbeitet, muß die Technik etwas modifiziert werden. Nach dem Beschichten, Auffüllen der Lunker und dem Schleifen, muß eine zweite, leichte Schicht Epoxidharz auf die Oberfläche aufgebracht werden. Dann werden die Fasern vorgetränkt. Dabei kann man das Papier, in das sie eingerollt sind, als provisorische Unterlage benutzen, wobei man die Enden der Graphitfasern mit Kreppband in ihrer Lage festhält. Sind die Fasern getränkt, werden sie mit dem Papier zusammen auf die Oberfläche aufgebracht und mit der Hand angedrückt. Das Papier wird danach abgezogen, zusätzliches Epoxid aufgebracht und, wie bereits beschrieben, die Fasern nachgetränkt.

Soll die Festigkeit lokal besonders stark erhöht werden, ist es möglich, mehrere Lagen dieser hoch-

festen Fasern übereinander aufzubringen. Für diesen Zweck ist es am besten, die Schichten wie bei einer Blattfeder aufzubauen, d.h. die längste Lage zuerst und dann langsam abgestuft bis zur kürzesten. Auf diese Weise kann man die Enden nachher sehr gut verschleifen und vermeidet es, durch die langen Schichten hindurchzuschleifen.

Kapitel 13

Der Schnürboden

Bevor man nun mit dem eigentlichen Bootsbau beginnen kann, muß das Boot in seiner vollen Größe aufgerissen werden. Das bedeutet, daß man die Zeichnungen, die ja in einem bestimmten Maßstab erstellt wurden, auf die tatsächliche Bootsgröße projiziert. Die meisten Boote haben recht komplexe Oberflächen. Das Aufschnüren garantiert, daß die Kurven, die den Rumpf beschreiben, wirklich strakende Linien sind. Da erst das Aufschnüren die exakten Konturen der Spanten bestimmt, bedeutet dies, daß sich bei präziser Schnürbodenarbeit sowohl die Stringer wie auch die Beplankung ohne Schwierigkeiten an die Bauspanten anlegen und daß der sich so ergebende Rumpf wirklich glatt und strakend wird, wie es sich der Konstrukteur vorgestellt hat. Wird dagegen auf die Schnürbodenarbeit nicht genügend Sorgfalt verwandt, gibt es beim Aufplanken selbstverständlich Schwierigkeiten. Manchmal kann diese Nachlässigkeit bei der Schnürbodenarbeit zu einer solchen Unzufriedenheit führen, daß man das ganze Projekt aufgibt.

Der Sinn, die Linien des Bootes, die seine Kontur beschreiben, in voller Größe aufzureißen, besteht darin, die kleinen Fehler und Unstimmigkeiten auszuräumen, die sich notwendigerweise in den Linienriß des Konstrukteurs einschleichen. Wenn die Zeichnung z.B. im Maßstab 1:10 gemacht wurde, bedeutet es, daß ein 9 m langes Boot auf der Zeichnung 90 cm lang ist. Alle Maße müssen also nun zehnfach vergrößert werden, und wenn man das tut, vergrößert man ebenso die Fehler im gleichen Verhältnis. Es würde zu Ungenauigkeiten führen, die das fertige Boot unansehnlich machen. Wenn das Aufschnüren richtig vorgenommen wird, werden diese Fehler automatisch vermieden. Man kann das natürlich auch während des eigentlichen Bootsbaus tun, was dann aber mit einer sehr viel größeren und zeitraubenderen Arbeit verbunden ist, wenn man einen ebenso glatten Rumpf herstellen möchte.

Wer noch niemals Schnürbodenarbeit gemacht hat, wird feststellen, daß wirklich genau es Aufschnüren eine zeitraubende Beschäftigung ist. Andererseits kann man beim Aufschnüren bereits den

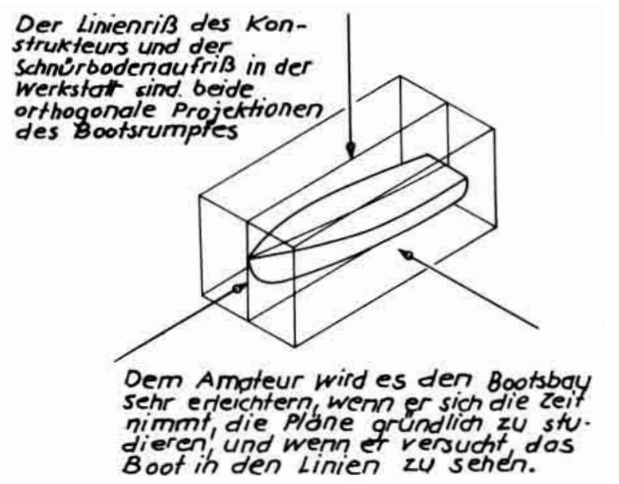

Der Linienriß des Konstrukteurs und der Schnürbodenaufriß in der Werkstatt sind beide orthogonale Projektionen des Bootsrumpfes
Dem Amateur wird es den Bootsbau sehr erleichtern, wenn er sich die Zeit nimmt, die Pläne gründlich zu studieren, und wenn er versucht, das Boot in den Linien zu sehen.

Bild 13.1 – Die drei Ansichten des Bootes, die der Linienriß wiedergibt.

gesamten Bootsbau durchdenken, ohne auch nur ein Stück Holz angefaßt zu haben. Wenn man in diesem Stadium bereits, alles durchdacht hat, vermeidet man später Enttäuschungen und Fehler beim eigentlichen Bootsbau.

Das Aufschnüren eines Bootes ist eine Arbeit, die man sich nur schwer vorstellen kann, bis man sie wirklich macht. Sie abstrakt zu erklären, ist schwierig. Abgesehen davon hat jeder, der auf dem Schnürboden arbeitet, seine kleinen Tricks, die die Arbeit leichter, schneller und akkurater machen. Wir schlagen vor, dieses Kapitel zu ende zu lesen, bevor Sie sich an die Arbeit machen. Wen die Idee, ein großes Boot aufzuschnüren, zunächst abschreckt, sollte mit einem kleinen, einfachen anfangen und das auf ein Stück Papier aufzeichnen. Man erhält so ein sehr gutes Gefühl für das, was man tut.

Die folgenden Ausführungen sind eine recht allgemeine Erörterung über die einzelnen Verfahrensschritte. Genauere Erklärungen kann man in verschiedenen Büchern finden, die wir im Anhang auflisten (Howard I. Chapell: *Boatbuilding,* Allan H. Vaitses: *Lofting,* Robert M. Steward: *Boatbuilding Manual*). Wer Zugang zu einem Computer hat und diesen für die Schnürbodenarbeit benutzen will, sollte das Buch von Steward lesen.

Der Linienriß

Der Linienriß zeigt drei verschiedene Ansichten des Bootes. Abb.6 gibt einen solchen einfachen Linienriß wieder. Der *Seitenriß* beschreibt die Bootsform aus seitlicher Ansicht. Der *Wasserlinienriß* ist ein Blick von oben senkrecht auf das Boot. Der *Spantenriß* wiederum ist die Ansicht des Bootes von vorne und hinten.

Im Linienriß gibt es nun vier Arten von Linien: die Spanten, die Schnitte, die Wasserlinien und die Senten. Zusammen bilden sie ein dreidimensionales Gitter. Jede Linie bedeutet eine imaginäre Ebene, die durch den Rumpf hindurch gelegt wird (siehe Abb.6).

Die Spanten: Die imaginären Ebenen, die die Spanten beschreiben, verlaufen quer zur Schiffsebene und zwar senkrecht. Die Konturen entsprechen vertikalen Schnitten, die in einem bestimmten Abstand hintereinander durch den Bootsrumpf gelegt werden. Gezeichnet wird jeweils nur die Hälfte des Schiffes. Die Spanten sind durchnummeriert.

Die Schnitte: Die imaginären Schnittebenen, die die Schnitte beschreiben, laufen ebenfalls vertikal durch das Boot, jedoch parallel zur Längsschiffsrichtung. Auch diese Ebenen haben üblicherweise gleichen Abstand, der von der Mittschiffsebene nach außen abgesetzt wird. Die Mittschiffsebene zeigt sich als Profil oder größte Kontur des Bootes.

Die Wasserlinien: Diese ergeben sich, wenn waagerechte Schnittebenen durch den Rumpf gelegt werden, wiederum üblicherweise in gleichen Abständen parallel zur Basis.

Die Senten: Diese Ebenen verlaufen auch in Längsschiffsrichtung, sind aber weder vertikal noch horizontal. Die Sentenebenen gehen diagonal durch den Rumpf hindurch. Der Winkel, den sie mit der Mittschiffsebene bilden, ist dabei willkürlich, wird jedoch vom Konstrukteur möglichst so gelegt, daß sich ein Schnitt mit den Spanten in einem möglichst großen Winkel ergibt, im Idealfall 90°.

Für jeden Teil des Linienrisses werden die Spanten, Schnitte, Wasserlinien und Senten durch gerade Linien wiedergegeben, und diese bilden das Gitter oder Netz. In der dritten Ansicht zeigen sich diese Linien als Kurven, die die Durchdringung der Ebene mit dem Rumpf darstellen.

Die Seitenansicht enthält die Linie *Seite Deck,* den *Kiel* und den *Steven.* In dieser Ansicht erscheinen die Schnitte als Kurven in einem bestimmten Abstand von Mitte Schiff. Im Wasserlinienriß finden wir die Kurven für Seite Deck und alle Wasserlinien wieder. Auch die Senten erscheinen in dieser Ansicht. Der Spantenriß wiederum besteht aus der Kontur vertikaler Schnitte quer zur Längsschiffsrichtung. Alle Schnitte vom Steven bis zum größten Spant (Hauptspant) werden auf der einen Seite, die des Hinterschiffs bis zum Spiegel auf der anderen Seite der Mittellinie aufgetragen.

Da die meisten Boote symmetrisch sind, reicht es, wenn man nur die Hälfte der Spanten aufreißt. Allerdings haben einige Mehrrumpfboote asymmetrische Rümpfe, und in diesem Fall muß natürlich der Spantenriß auch beide Rumpfseiten in voller Länge zeigen.

Die Aufmaßtabellen

Die Aufmaßtabellen liefern die Werte, die man für das Aufschnüren des Rumpfes braucht. Der Konstrukteur hat diese Zahlen ermittelt, indem er sie mit dem Maßstabslineal aus dem Linienriß herausgemessen hat. Über den Tabellen wird üblicherweise angegeben, in welchen Einheiten die Maße gegeben werden, bei uns in mm. Die Aufmaße für die Mittschiffsebene und die Schnitte werden als

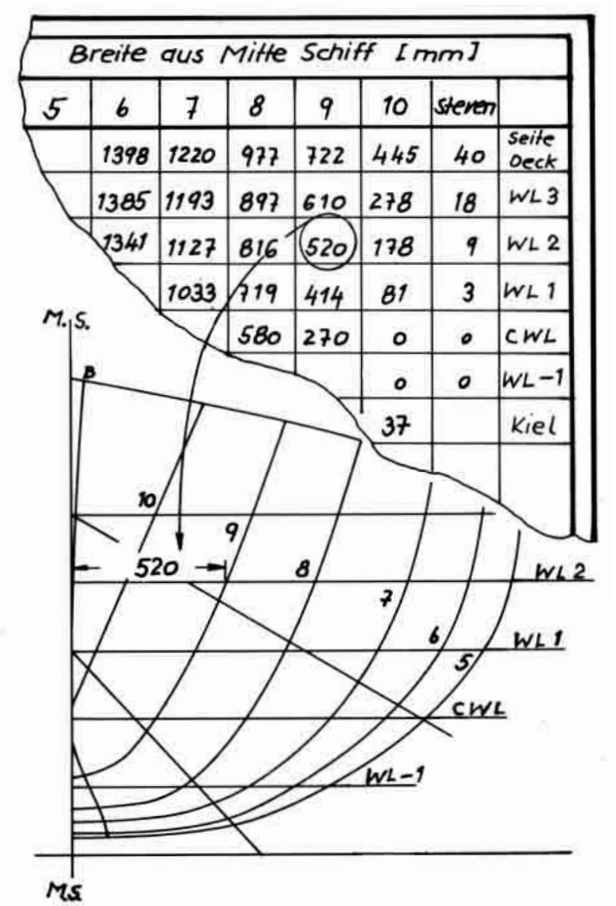


Bild 13.2 – Übertragen von Maßen aus der Aufmaßtabelle auf den Schnürboden.

Maße über der Basis (bzw. unter der Basis) oder über und unter der Konstruktionswasserlinie gegeben. In dieser Aufmaßtabelle werden auch die Konturen der Mittschiffsebene angegeben, also Kiel, Steven und Seite Deck. Eine zweite Aufmaßtabelle liefert dann die halben Breiten der Wasserlinie, gemessen von Mitte Schiff. Damit lassen sich also die Deckskontur und die halben Wasserlinienbreiten absetzen. Eine weitere Tabelle gibt dann die Werte für die Senten, wiederum von Mitte Schiff aus gemessen, und zwar entlang der im Spantenriß gezeigten Richtung.

Die Materialien für Schnürbodenarbeit

Die Schnürbodenplatte: Das erste, was man braucht, ist ausreichend Platz, um das Boot in voller Größe aufzuschnüren. Im Idealfall ist dieser Raum mindestens 1,5 m länger als das Boot und um den gleichen Betrag breiter als das größte Aufmaß. Bei Mehrrumpfbooten bedeutet das: man nimmt den größten Rumpf, um die Abmessungen zu bestimmen. Allerdings haben einige Mehrrumpfboote Aufbauten und Querträgerkonstruktionen, die ebenfalls aufgerissen werden müssen, und dazu braucht man dann wiederum die halbe Breite des gesamten Bootes, zuzüglich eines gewissen Übermaßes. Bei den Mehrrumpfbooten, die wir gebaut haben, war es möglich, zunächst die Rümpfe und dann erst die Verbindungsteile an einer geeigneten Stelle auf dem Schnürboden aufzureißen. Dadurch konnten wir Platz sparen und brauchten nicht die halbe Breite der kompletten Yacht aufzureißen.

Wir finden, daß sich diese Arbeiten am leichtesten auf einem Holzfußboden erledigen lassen. Wenn man einen Sperrholzfußboden in gutem Zustand hat, kann man darauf direkt arbeiten. Will man die aufgeschnürten Linien aufbewahren oder ist der Boden zu rauh, um direkt darauf zu arbeiten, sollte man ihn mit einem billigen Sperrholz ausreichender Größe auslegen. Dieser neue Boden wird mit wenigstens zwei Anstrichen weißem Mattlack versehen und leicht angeschliffen. Dann kann man darauf mit einem Bleistift und auch mit Kugelschreiber arbeiten. Die weiße Farbe erleichtert zudem noch das Erkennen der Linien.

Stählernes Maßband: Im Idealfall besitzt man ein stählernes Maßband, das länger ist als der Rumpf, dazu noch ein kürzeres, etwa von 3 m Länge, das man ausgezogen abstoppen kann. Letzteres ist für viele der kleineren Abmessungen einfacher zu handhaben.

Richtscheit: Ein Richtscheit kann man kaufen oder auch selbst herstellen. Es sollte unbedingt ein paar Zentimeter länger sein als die Entfernung von der Basis bis zum höchsten Punkt des Bootes, der aufgerissen werden muß. Wer sein Richtscheit selber bauen will, sollte dazu astfreie Kiefer nehmen. Ob die Anlegekante des Richtscheits wirklich gerade ist, läßt sich leicht feststellen, indem man eine Linie daran entlang zieht, das Richtscheit dann umdreht und prüft, ob die Kante auch jetzt noch genau auf der Linie liegt. Dieses Werkzeug muß wirklich so genau wie nur irgend möglich sein.

Winkel: Baut man ein kleineres Boot, kann man einen fertigen stählernen Winkel oder ein Dreieck benutzen. Bei größeren Bauten muß man sich dieses Dreieck selbst herstellen. Astfreie Kiefer ist hierfür gut geeignet. Wir stellen unsere Dreiecke meistens aus 25 x 100 mm starken Hölzern her, wobei die längere Seite die gleiche Länge hat wie das Richtscheit, und die kürzere Seite etwa die Hälfte davon. Zunächst müssen wieder die beiden Anlegeseiten auf ihre Geradheit hin geprüft werden, nach dem gleichen Verfahren wie bei dem Richtscheit. Man sollte unbedingt den Winkel verschwerten, um einen perfekten 90° Winkel zu halten. Es empfiehlt sich, die Holzteile zu verleimen, wobei man darauf achten sollte, daß die Auflagefläche auf bei den Seiten eben ist. Das macht den Winkel universeller verwendbar.

Obwohl der Winkel so präzise wie möglich sein sollte, kann man sich doch nicht darauf verlassen, daß er absolut genau 90° anzeigt. Wenn wirklich einmal eine exakte Senkrechte benötigt wird, muß man sie mit dem Stangenzirkel konstruieren.

Stangenzirkel: Sie können sich selbst einen Zirkel aus geschlitzen Holzstücken, Schrauben, Scheiben und Flügelmuttern herstellen, den man zum Konstruieren von Senkrechten braucht.

Schmiegenbrett oder verstellbarer Schmiegenstock: Dieser wird benutzt, um Winkel vom Schnürboden auf die verschiedenen Bauteile des Bootes zu übertragen. Strakgewichte, oder Hammer und Nägel: Mit ihnen hält man die Straklatten an bestimmten Punkten fest, so daß sich eine strakende Bootskontur ergibt. Strakgewichte kann man in einigen Zeichenbedarfsläden bekommen. Sie sind natürlich das beste Hilfsmittel für diesen Zweck. Ein paar Dutzend Flacheisenabschnitte oder Mauersteine tun es zur Not auch. Man kann aber auch einen Hammer und ein paar Pfund dünne Drahtstifte verwenden.

Straklatten: Die Straklatten sind dünne Holz- oder Kunststoffleisten, die von den Nägeln oder Gewichten so gehalten werden, daß man seine Kurven dar an entlangziehen kann. Sie gehören zu den wichtigsten Schnürbodenwerkzeugen. Kunst-

stoffstraklatten kann man ebenfalls in Zeichenbedarfsgeschäften kaufen, aber hölzerne lassen sich auch selbst herstellen. Die Plastiklatten eignen sich besonders für stark verformte Kurven wie Spanten und Stevenkonturen, während hölzerne Latten für die weniger stark gekrümmten Wasserlinien, Senten und Schnitte zu nutzen sind.

Spruce oder ein anderes astfreies Nadelholz mit möglichst gerade verlaufenden Fasern sind das beste Material, um Straklatten herzustellen. Die meisten Harthölzer eignen sich hierfür nicht, da sie die Tendenz haben, sich nicht wieder vollständig zurückzustellen. Eine Ausnahme sind dünne Eschenlatten, um die Spanten, den stark verformten Steven oder die Enden der Schnitte aufzureißen.

Wir legen meistens ein paar Planken von 25 x 100 mm beiseite, aus denen wir dann Straklatten verschiedener Abmessungen schneiden, je nach Bedarf. Während des Aufschnürens stellt man fest, welche unterschiedlichen Abmessungen man braucht, so daß es sich schon lohnt, das geeignete Holz hierfür liegen zu haben. Eine Haupt-Arbeitslatte sollte bereitliegen, die etwa 1,5 m länger ist als das Boot. Die Abmessungen sollten 20 mm im Quadrat sein, bei größeren etwa 25 mm im Quadrat. Wenn geschäftet wird, benutzen wir eine sehr flache Schäftung von 20 : 1, da sich die Latte an dieser Stelle dann nicht so stark verwirft. Die Hauptaufgabe einer Straklatte besteht ja darin, die Ungenauigkeiten der Aufmaße auszugleichen. Eine krumme Latte wird diese Arbeit sehr erschweren. Das Ausstraken wird sehr erleichtert, wenn man die Latten einfach schwarz anstreicht. Die schwarze Farbe stellt den besten Kontrast zum weißen Schnürboden dar und verhindert alle Unstimmigkeiten, die durch die Holzfasern auftreten könnten. Auch hierfür sollte man, wie für den Schnürboden, einen matten Lack benutzen.

Kugelschreiber und Bleistifte: Man braucht mehrere Kugelschreiber mit unterschiedlichen Farben, zusätzlich ein paar Bleistifte mit harter Mine und einen Bleistiftspitzer, sowie einen Filzschreiber. Nur wasserfeste Kugel- und Filzschreiber eignen sich, denn es gibt nur wenige Dinge, die so ärgerlich sind wie verwischte Linien, weil man mit nassen Füßen auf den Schnürboden getreten ist.

Knieschützer oder ein Schaumkissen: Das Aufschnüren wird sehr viel angenehmer, wenn man etwas hat, worauf man sich knien kann.

Holz für Meßlatten: Ein paar Stücke Holz von etwa 25 x 100 mm sollte man beiseitelegen, aus denen man die Meßlatten fertigt. Man braucht für das Boot etwa fünfzehn dieser Latten, die Hälfte von ihnen mindestens so lang wie der Abstand von Basis bis Seite Deck an der höchsten Stelle und die andere Hälfte so breit wie die größte halbe Breite des Bootes. Die Arbeit wird erleichtert, wenn man diese Latten einseitig anschärft.

Anschlagklötze: Auch eine Anzahl Holzklötze in den ungefähren Maßen 25 x 50 x 150 mm sollte man bereitlegen, da man an jedem Bauspant einen benötigen wird.

Draht und Schnur: Diese beiden Teile braucht man, um das Netz des Bootes aufzureißen. Die Länge muß größer sein als die größte Bootslänge. Der Stahldraht muß etwa 200 kg Zugbelastung aushalten und sollte wenigstens 1,5 mm stark sein.

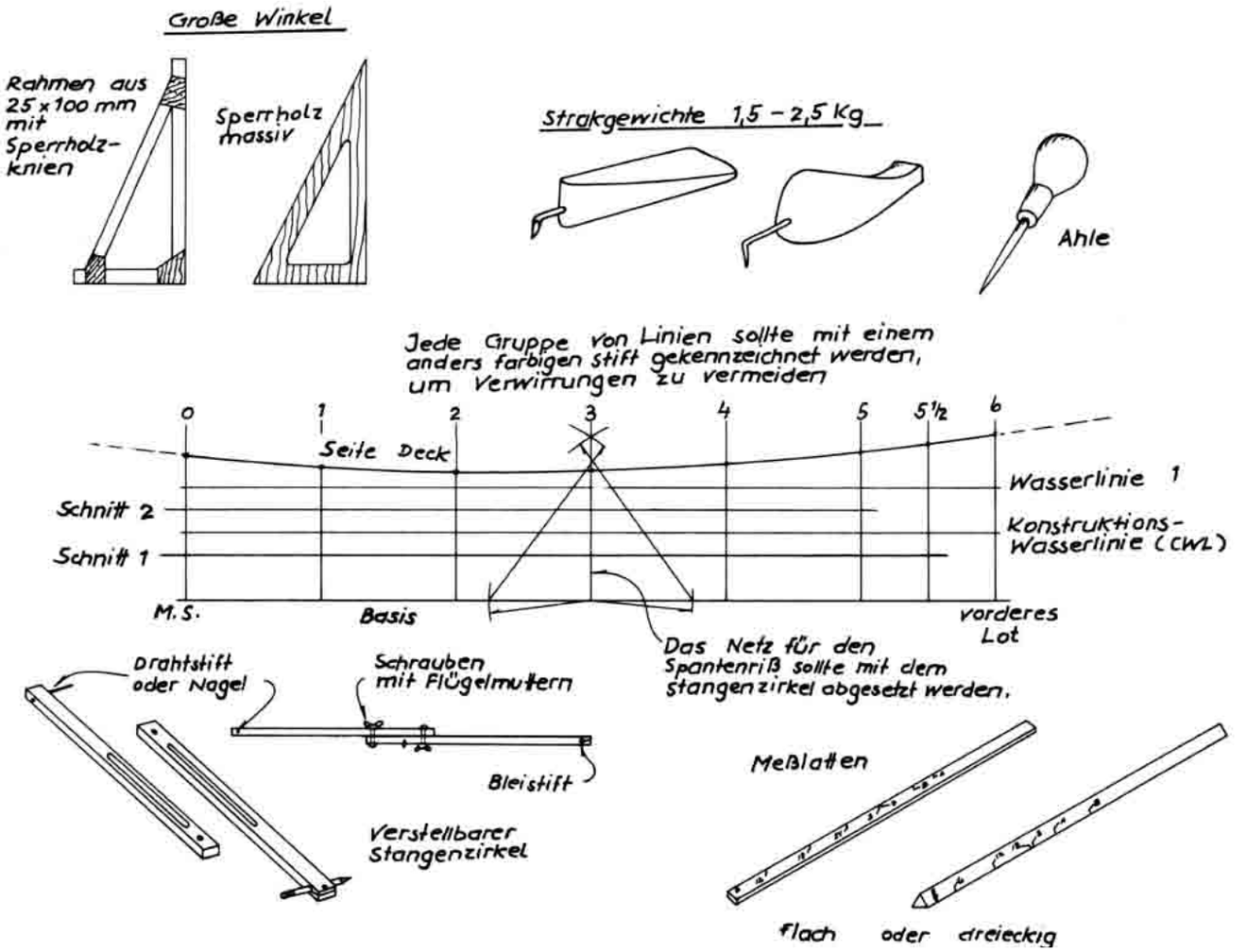
Das Aufreißen des Netzes

Der erste Schritt beim Aufschnüren des Bootes besteht darin, das Netz aufzureißen. „Netz“ ist der Name, mit dem alle geraden Linien bezeichnet werden, die die Lage von Schnitten, Wasserlinien, Senten, Mittellinie und Spanten beschreiben. Die Linien des Netzes laufen entweder parallel oder im rechten Winkel zur Basis. Die einzige Ausnahme hierbei sind die Senten, die im Spantenriß von Mitte Schiff beginnen und dann diagonal zu einem bestimmten Punkt laufen. Bei kleinen Linienrissen zeichnen die Konstrukteure alle drei Projektionen separat, um einer Verwirrung vorzubeugen. Schnürt man das Boot aber in voller Größe auf, werden diese Linien im allgemeinen übereinandergezeichnet, weil man dadurch Platz spart (siehe Abb.3). Eine gemeinsame Linie ist dann z.B. die Basis für den Seitenriß, die Mittellinie für die halben Breiten und für die Senten. Manchmal wird der Spantenriß auf eine separate Platte gezeichnet, so daß man ihn beim Bau mitnehmen kann, um ihn dicht am Boot zu haben. Meistens wird aber der Spantenriß ebenfalls in die anderen Ansichten hineingezeichnet und zwar so, daß die Mitte des Bootes in Längsrichtung zugleich die Mittellinie des Spantenrisses darstellt.

Es ist nicht weiter schwierig, das Netz aufzureißen, aber es ist wichtig, daß es mit äußerster Präzision geschieht. Wenn man einen Fehler macht und ihn nicht sofort erkennt, wird man ein paar Stunden später über ihn stolpern, so daß man in den meisten Fällen wieder von vorne anfangen kann. Die Linien des Netzes sind nun fertig und bleiben für die gesamte Schnürbodenarbeit erhalten, sie sollten also jetzt in Tusche ausgezogen werden.

Die Basis: Da die Basis die Linie ist, von der man alle anderen absetzt, muß sie mit besonderer Sorgfalt aufgeschnürt werden. Wir machen das folgen-

Bild 13.3 – Das Liniennetz auf dem Schnürboden, bei dem alle Ansichten ineinander gezeichnet werden. Außerdem verschiedene nützliche Werkzeuge für das Aufschnüren.



dermaßen: Wir spannen einen Draht dicht an der Kante der Schnürbodenplatte entlang. Dazu nageln wir den Draht auf der einen Seite fest und lassen hn über ausgenutete Hölzchen laufen, befestigen ihn an der zweiten Seite an einem Stück Holz, das etwas entfernt vom Draht einen Drehpunkt besitzt,

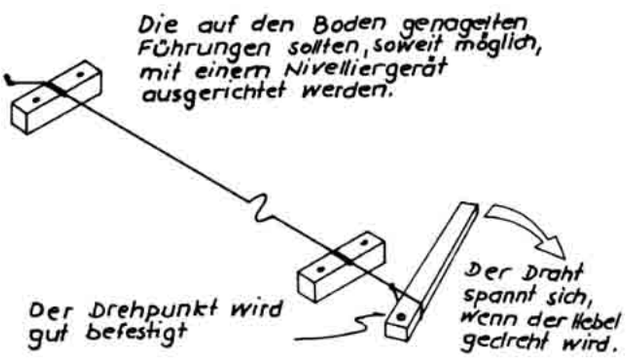

Die auf den Boden genagelten Führungen sollten, soweit möglich, mit einem Nivelliergerät ausgerichtet werden.
Der Drehpunkt wird gut befestigt
Der Draht spannt sich, wenn der Hebel gedreht wird.

Bild 13.4 – Anordnung der Spannvomchtung für den Zentrierdraht.

spannen dann diesen Hebel und befestigen ihn, so daß etwa 200 kg Zug darauf liegen (Abb.4).

Um nun die Richtung dieses hochliegenden Drahtes auf die Platte zu übertragen, benutzen wir eine Vorrichtung, die in Abb.5 gezeigt wird. Diese ist so gebaut, daß eine kleine Zunge unter dem Draht hindurch reicht, während ein Anschlag gegen den Draht stößt. An der Kante der Zunge machen wir nun Bleistiftmarkierungen, etwa im Abstand von jeweils 1 m.

Die Spanten: Der nächste Arbeitsschritt besteht darin, die Lage der Spanten aufzureißen. Die Enden des Schiffes sollten dabei möglichst nach der Schnürbodenplatte mittig ausgerichtet werden, so daß man an beiden Enden jeweils noch etwas Platz hat. Mit dem Stahlbandmaß, das wenigstens die volle Schiffslänge hat, markieren wir nun auf der Basislinie mit Bleistift alle Spantpositionen.

Wir mißtrauen immer dem ersten Zentimeter eines Bandmaßes. Um sicher zu sein, daß die Maße wirklich stimmen, fangen wir mit der 2 cm-Markie-

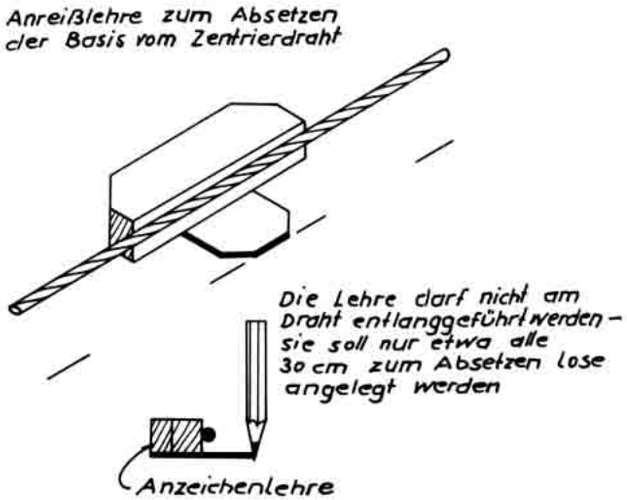

Anreißlehre zum Absetzen der Basis vom Zentrierdraht
Die Lehre darf nicht am Draht entlanggeführt werden – sie soll nur etwa alle 30 cm zum Absetzen lose angelegt werden
Anzeichenlehre

Bild 13.5 – Ausschlag zum Übertragen der Basis entlang des Drahtes.

rung an, machen dann bei 7 cm eine Bleistiftmarkierung, ziehen das Bandmaß wieder durch, so daß die 5 cm-Marke auf diesem Bleistiftstrich liegt und alles ist wieder im Lot. Manche Leute addieren diese 2 cm dann zu allen Maßen, aber wir haben es schon geschafft, Teile kleiner zu sägen, weil wir vergessen hatten, den Zuschlag zu machen.

Da ein einwandfreies Aufschnüren nur möglich ist, wenn das Netz wirklich präzise ist, sollte man doppelt und dreifach alle Abmessungen prüfen, bevor man den nächsten Schritt unternimmt. An diesem Punkt muß ausdrücklich gesagt werden, daß man alle Abmessungen des Netzes, d.h. Spant-, Wasserlinien- und Schnittentfernung u.s.w. genau so aufreißt, wie es der Konstrukteur vorgegeben hat. Die Maße lassen sich aus dem Linienriß nur schwer herausmessen, aber normalerweise sollte der Konstrukteur diese Abstände vermaßt haben.

Als nächstes werden die Spanten senkrecht auf der Basis hochgerissen. Wir benutzen dazu folgendes Verfahren: Zunächst konstruieren wir eine Senkrechte am vordersten Spant und zwar mit Hilfe des Stangenzirkels. Der Zirkelschlag sollte so groß wie möglich sein, da dies die Genauigkeit verbessert (siehe Abb.3). Mit Hilfe des Richtscheits ziehen wir diese Linie in Tusche nach und zwar etwas höher als die Yacht hoch ist.

Mit dem Anreißwinkel wird nun am anderen Ende des Bootes ein Spant angezeichnet. Dann wird an beiden Linien von der Basis das gleiche Maß abgesetzt. Zwischen diesen beiden Punkten spannt man nun eine Schnur, die jetzt parallel zur Basislinie liegt. Anschließend beginnen wir von dem Spant aus, den wir zuerst konstruiert haben, mit Hilfe des Stahlbandmaßes die Spantentfernungen abzusetzen. Jetzt haben wir zwei Punkte für jede Spantposition, die wir mit Tusche verbinden können. Die mit dem Winkel aufgerissene Spantrichtung kann dabei leicht korrigiert werden, da auch ein Winkel leichte Ungenauigkeiten aufweisen kann. Nun werden die Spanten unter der Basis und über der späteren Seite-Deck-Kontur mit Nummern versehen.

Um das Aufreißen des restlichen Netzes zu erleichtern, nageln wir nun kleine Hölzer (25 x 50 x 100 mm) bei jeder Spantposition direkt an die Basislinie. Diese Hilfsklötzchen sollten nicht zu fest vernagelt werden, da wir einige von ihnen zwischendurch entfernen müssen, um die Straklatte anzulegen. Die Klötzchen dienen dazu, für die Meßlatten einen Anschlag zu liefern, so daß man nicht jedesmal wieder zur Basislinie kriechen muß, um die genaue Anlage zu prüfen.

Die Wasserlinien: Die nächste Arbeit besteht nun darin, die Wasserlinien im Seitenriß einzuzeichnen. Diese laufen ja parallel zur Basis und in Abständen, die wir aus dem Linienriß entnehmen. Um Zeit zu sparen und Irrtümer auszuschließen, benutzen wir die Meßlatte, wenn wir die Lage der Wasserlinien markieren. Wir verlassen uns also nicht auf das Maßband. Gerade bei Wasserlinienabständen, die kein rundes Maß haben, vermeidet man auf diese Weise, daß man sich vermißt. Diese Meßlatte ist nichts weiter als eine Leiste, auf der wir die Lage aller Wasserlinien von der Basis an auftragen. Das tun wir mit Hilfe des Stahlbandmaßes und zwar wiederum mit besonderer Sorgfalt. Nun wird diese Meßlatte einfach gegen den Hilfsklotz gelegt, und die Wasserlinien werden auf den Spanten markiert. Hierfür reicht ein dünner Bleistiftstrich. Dies wird bei jedem Spant wiederholt. Mit Hilfe des Richtscheits werden die Markierungen verbunden und die Wasserlinien in Tusche nachgezogen. Man kann hierfür dieselbe Farbe benutzen wie für die Basis und die Spantpositionen. Alle Wasserlinien werden nun an den Enden beschriftet.

Die Schnitte: Als nächstes reißen wir die Schnitte im Wasserlinienriß auf. Wir benutzen hierfür wieder die Basis, die in diesem Fall aber die Mittschiffsebene darstellt, und setzen von hier aus die Position der Schnitte nach den Maßen des Linienrisses ab. Auch hierfür stellen wir uns wieder eine Meßlatte her, genau wie wir es für die Wasserlinien getan haben. Zum Markieren benutzen wir eine andere Farbe, um die Schnitte von den Wasserlinien unterscheiden zu können. Nun werden diese Linien wieder an den Enden beschriftet. Falls Schnitte und Wasserlinien zusammenfallen, müssen sie zweifarbig markiert werden.

Der Spantenriß: Die letzte Arbeit vor Vollendung des Netzes ist das Netz für den Spantenriß. Wie bereits erwähnt, benutzen einige Leute hierfür eine extra Platte, aber wir zeichnen den Spantenriß direkt in das Boot ein, wobei wir einen der Spanten etwa auf halber Bootslänge als Mittschiffslinie benutzen. Das Verfahren ist dabei folgendes:

Zunächst legen wir fest, welche der Spantpositionen wir als Mittschiffslinie benutzen. Auf der einen Seite wird später das Vorschiff, auf der zweiten das Hinterschiff gezeichnet und zwar jeweils bis zum Hauptspant. Die Wasserlinien haben wir bereits eingezeichnet und benutzen sie auch für den Spantenriß, aber wir müssen jetzt noch die Schnitte einzeichnen. Dies sind im Spantenriß senkrechte Linien, parallel zur Mittellinie. Wir benutzen dafür die Meßlatte, die wir bereits für das Auftragen der Schnitte im Wasserlinienriß gebraucht haben. Die Schnitte werden beiderseits der Mittschiffslinie eingezeichnet und zwar gleich in Tusche. Wir nehmen hierfür die gleiche Farbe wie für die Schnitte im Wasserlinienriß.

Als nächstes folgt das Anzeichnen der Senten im Spantenriß. Wenn der Konstrukteur Senten vorgesehen hat, erkennt man diese als Diagonale, die von der Mittschiffsebene schräg nach unten laufen und zwar unter verschiedenen Winkeln. Man muß nun den Linienriß zurate ziehen, um den Fußpunkt zu finden, sofern die Richtung nicht durch Winkelgrade vorgegeben ist. Meistens wird versucht, diese Fußpunkte in die Kreuzung z.B. von Schnitten und Wasserlinien oder Basislinie zu legen. Sobald die Richtung der Senten feststeht und sie nochmals geprüft wurden, werden sie mit Tusche ausgezogen. Hierfür nehmen wir wieder eine andere Farbe. Da später Wasserlinien und Schnitte dicht zusammenliegen oder übereinanderlaufen, lassen sie sich so besser auseinanderhalten. Damit ist das Netz fertig.

Seite Deck

Obwohl versierte Schnürbodenarbeiter manchmal mehrere Linien gleichzeitig ausstraken, sind wir der Meinung, daß es weniger verwirrt, wenn wir immer nur eine Linie zur Zeit bearbeiten, um sicherzustellen, daß sich kein Fehler einschleicht.

Die ersten Kurven, die wir festlegen, sind diejenigen, die die äußere Kontur des Bootes bestimmen. Normalerweise beginnen wir mit der Linie *Seite Deck*. Wir sehen dazu in die Aufrnaßtabelle des Aufrisses, in der die Abstände der Seite Deck von der Basis angegeben sind. Bei jeder Spantposition messen wir sehr sorgfältig die Aufmaße; dann wird durch diese Punkte die Straklatte gelegt.

Das Ausstraken einer Kurve: Zunächst brauchen wir eine Latte, die sich durch alle Punkte legen läßt. Dabei kommt es auf die richtige Flexibilität an: nicht so steif, daß die Latte bricht oder die Gewichte verschiebt und nicht so flexibel, daß sie sich auch durch nichtstrakende Punkte legen läßt. Zunächst wird die Latte am ersten und letzten Spant angelegt und mit Gewichten oder Nägeln gehalten. Wenn man Nägel benutzt, dürfen sie nicht durch die Latte getrieben, sondern nur davor oder dahinter auf dem Schnürboden befestigt werden, so daß die Latte entlanggleiten kann. Dann drücken wir die Latte an die Mittschiffsmarkierung und halten sie dort fest, und so arbeiten wir uns nach beiden Enden Punkt für Punkt an den Markierungen entlang.

Wenn sich zeigt, daß irgendein Punkt herausspringt, d.h. mehr als 10 mm neben der Markierung liegt, muß zunächst die Aufmaßtabelle geprüft werden. Stimmt dort das Maß, gehen wir in die Zeichnung des Linienrisses, um zu sehen, ob das Maß falsch eingetragen wurde. Ist dies der Fall, wird es in der Aufrnaßtabelle korrigiert.

Nachdem wir nun die Hauptfehler ausgeglichen haben, wird die Latte Punkt für Punkt durchgestrakt. Es gibt keine wissenschaftliche Formel für den Strak einer Linie: Die Kurve muß dem Auge gefällig sein und weder flache Stellen noch irgendwelche Beulen aufweisen. Die beste Art, dies zu prüfen, ist, auf dem Boden direkt an der Latte entlangzupeilen, da man so die Unebenheiten am leichtesten entdeckt.

Man sollte sich ruhig etwas Zeit nehmen, um die Latte korrekt auszurichten. Wir versuchen dabei natürlich, die Latte so wenig wie möglich von den Punkten zu entfernen. Sobald das zur Zufriedenheit erledigt ist, wird die Linie mit Tusche eingezeichnet. Die Farbe, die wir für die Schnitte im Wasserlinienriß benutzt haben, ist genau die richtige.

Andere Umrißlinien

Die anderen Linien, die die äußeren Umrisse des Bootes bestimmen, sind *Kiel- und Stevenkontur.* Sie werden in der gleichen Art aufgetragen wie *Seite Deck,* wobei wir wieder die Maße aus den Aufmaßtabellen entnehmen und sie mit Latten ausstraken. Auch sie werden mit Tusche nachgezogen.

Bei Booten, deren Planken in einem Totholz enden, gibt es die *Sponungslinie.* Sie stellt die Kontur des Innenkiels und Stevens dar und muß ebenfalls aufgeschnürt werden. Bei unserer Art von Bootsbau haben wir diese Sponung nicht, da wir Totholz und Außenkiel erst nachträglich auflaminieren.

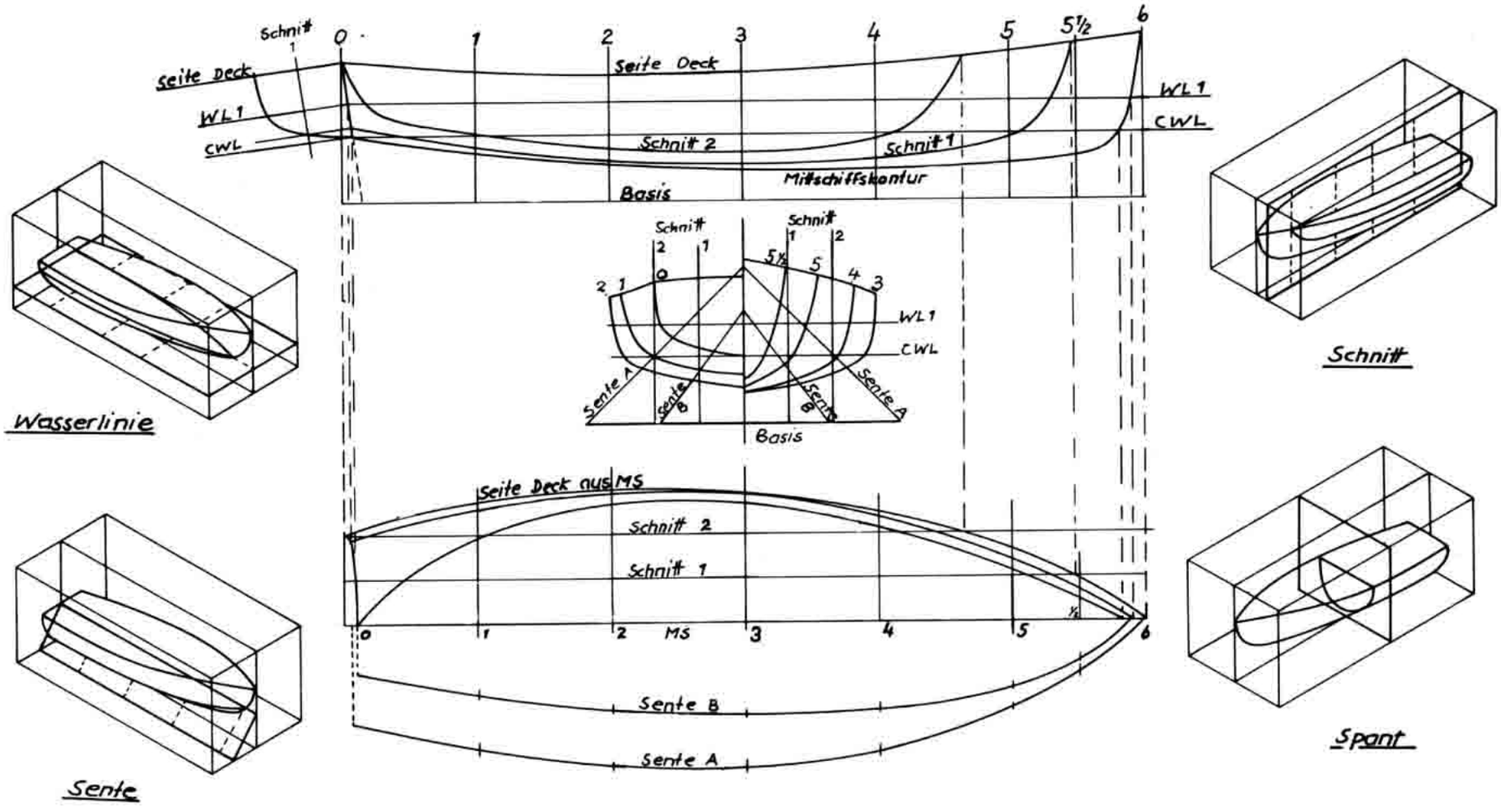


Bild 13.6 – Ein einfacher Satz Linien zeigt die drei Ansichten: Spanten-, Seiten-und Wasserlinienriß. Die Senten sind unter den Wasserlinien von der gleichen Mittellinie abgesetzt. Isometrische DarsteUungen aus den drei Blickrichtungen stellen die Linien des Bootes als Schnitte mit einem rechtwinkligen Prisma dar. (Diese Skizzen dienen nur zur Verdeutlichung).

Die Deckslinie

Als nächstes zeichnen wir nun Seite Deck im Wasserlinienriß ein, also als Draufsicht. Die Aufmaße für diese Kurve finden wir in der Aufmaßtabelle der halben Breiten aus Mitte Schiff. Diese Maße werden übertragen und genau wie Seite Deck im Aufriß ausgestrakt. Alle größeren Unstimmigkeiten sollten mehrfach geprüft und die Latte so korrigiert werden, daß wir eine gefällige, strakende Kurve haben. Auch diese Linie wird jetzt in Tusche nachgezogen. Die Linien, die wir bisher aufgetragen haben, sind endgültig, und während des gesamten weiteren Aufschnürens werden sie nicht mehr geändert.

Der Spantenriß

Mit dem Netz, den Umrissen in der seitlichen Ansicht und der Deckslinie haben wir nun bereits die Hauptlinien fertig. Der nächste Schritt ist der Spantenriß, also die Darstellung der Querschnitte an den markierten Spantebenen. Die Konturen des Aufrisses und die Deckslinie, die bereits in Tusche ausgezeichnet sind, geben die Höhe der Mittschiffskontur über der Basis und die Höhe und Breite von Seite Deck bei jedem Spant an. Als erstes müssen diese Maße übertragen werden – so wie sie aus gestrakt wurden und nicht wie sie in der Aufmaßtabelle stehen. Wir benutzen dafür wieder unsere Meßlatten.

Meßlatten machen genau folgendes: Sie nehmen die Abmessungen aus einer Ansicht und übertragen sie – in eine andere. Sie lassen sich viel einfacher benutzen und bieten weniger Fehlermöglichkeit als ein Bandmaß. Man kann nun bei jedem beliebigen Spant beginnen und die Decks- und Rumpfkontur in den Spantenriß übertragen. Dazu legt man die Meßlatte entlang des Spants im Aufriß an das Anschlagbrettehen an und markiert die Mitte-Schiff-Linie und Seite Deck. Dabei muß jede Markierung sofort beschriftet werden, z.B. *Wasserlinie,* oder welches Maß man auch immer überträgt. In diesem Fall würde man die Spantnummer und die Basis am Ende der Meßlatte auftragen und dann die Bodenkontur und Seite Deck sowie die Breite des Decks aus Mitte Schiff. Die Meßlatte wird nun in den Spantenriß gelegt, so daß die Anschlagkante wieder an der Basis anliegt. Wir markieren dann die Kiellinie und die Höhe von Seite Deck auf Mitte Schiff. Dabei wird die Ansicht, wie im Linienriß des Konstrukteurs vorgegeben, auf die entsprechende Seite übertragen.

Um die halbe Decksbreite zu übertragen, wird in Höhe der Markierung ein rechter Winkel an die Mittschiffsebene gelegt. Die meisten Schnürbodenarbeiter benutzen die danebenliegende Spantposition, um die Höhe von Seite Deck wirklich parallel zu übertragen, und verbinden dann diese Punkte mit einer leichten Bleistiftlinie. Dann wird die Breite des Decks von der Mittellinie abgetragen. Dieses Verfahren ist etwas genauer als wenn man einen Winkel benutzt. Sind die Maße für einen bestimmten Spant übertragen, wird wieder beschriftet. Danach werden die Punkte der restlichen Spanten auf die gleiche Art übertragen. Sie sind ebenfalls endgültig und. brauchen nicht mehr korrigiert zu werden, bis die Stärke der Beplankung abgezogen wird.

Die nächste Arbeit ist eine recht langwierige, denn sie besteht darin, aus den Aufmaßtabellen und den bereits aufgeschnürten Linien alle Punkte in den Spantenriß zu übertragen. Manche Schnürbodenfachleute arbeiten direkt von den Aufmaßtabellen und übertragen sämtliche Maße unmittelbar mit dem Bandmaß auf die Schnürbodenplatte. Andere ziehen es vor, alle Maße zunächst auf Meßlatten aufzutragen und von diesen dann erst auf den Schnürboden zu gehen. Keine der bei den Methoden ist der anderen eindeutig überlegen, obwohl es leichter sein sollte, an einer Stelle die Maße auf Meßlatten aufzutragen, anstatt auf der Platte mit den Aufrnaßtabellen und dem Bandmaß herumzukriechen. Ganz gleich, welches Verfahren man bevorzugt, alle Punkte müssen beschriftet werden.

Wenn man die Meßlatten benutzt, kann man sämtliche Informationen für einen Spant auftragen, sofern die Punkte nicht so dicht beieinanderliegen, daß man durcheinander gerät. Dazu fängt man an einem Ende der Latte an und markiert z.B. alle Wasserlinien. Dann dreht man die Latte um und überträgt alle Schnitte, wobei man diese dann in einer anderen Farbe markiert. Um die Senten aufzutragen, nimmt man das Ende der Latte, das am wenigsten durch Striche besetzt ist. Die Decks- und Bodenkontur haben wir bereits übertragen; sie erscheinen also nicht auf der Meßlatte.

Sind nun alle diese Punkte übertragen, werden sie mit Hilfe einer dünnen Straklatte zur Kontur abgeglichen. Die Latte wird wieder mit kleinen Nägeln gehalten – und zwar auf beiden Seiten der Latte – oder einfacher noch mit Strakgewichten. Sollten größere Unstimmigkeiten auftreten, müssen die Aufmaße, wie schon beschrieben, geprüft werden. Die Latte wird nun wieder nach dem Eindruck korrigiert, wobei man versucht, so wenig wie möglich von den Punkten abzuweichen, bis sie dem Auge gefällt. Nun wird sie mit Bleistift ausgezogen. Auch die übrigen Spanten werden auf die gleiche

Bild 13.7 – Hier wird das Hinterschiff einer IOR-Rennyacht mit Strakgewichten und flexiblen Kunststoff-Latten aufgerissen.

Art aufgetragen. Wir schlagen vor, immer nur jeweils einen Spant zu bearbeiten und ihn in sich grob auszustraken, bevor man sich an den nächsten macht. Manchmal überschneiden sich die Spanten, und wenn man dann nur die Punkte aufgetragen hat, kann das verwirren.

Beim endgültigen Ausstraken der Linien ist es hilfreich, wenn man bereits bei diesem groben Abgleich ein gewisses System verwendet. Hier ein Beispiel: Wenn Spant 3 in der Konstruktionswasserlinie leicht nach außen wandern will und auch Spant 2 eine Korrektur braucht, ist es richtiger, auch diesen Spant in der CWL nach außen zu drücken, anstatt ihn bei Wasserlinie 1 nach innen zu ziehen.

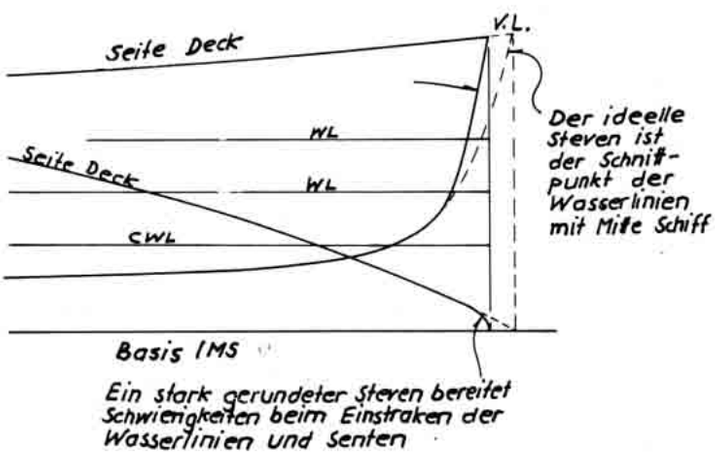


Bild 13.8 – Der ideelle Vorsteven erleichtert das Straken der Wasserlinien.

Wenn der Spantenriß in dieser vorläufigen Form fertig ausgezeichnet ist, kann man die Bootsform bereits gut erkennen. Sofern nicht ein größerer Fehler auftritt, wird der letzte Spant dieser Projektion normalerweise ungeändert bleiben.

Im vorderen Teil des Spantenrisses gibt es manchmal eine Linie, dicht neben der Mittschiffsebene, allerdings nicht unbedingt parallel zu ihr, die die Dicke des Bootes an der Stelle andeutet, an der die Planken enden, bevor die Kontur in den runden Steven übergeht. Auch diese Linie muß man einzeichnen. Sie wird später benutzt, um die Wasserlinienbreite an jedem Punkt festzulegen, an dem sie aus dem Steven herausläuft. Einige Konstrukteure ziehen auch den sogenannten ideellen Steven aus, der dann im Seitenriß vor dem tatsächlichen Steven liegt, und diese Linie entsteht aus dem Schnitt der Wasserlinien mit der Mittschiffsebene (siehe Abb.8).

An diesem Punkt ziehen wir bei einigen Rümpfen nun bereits die Außenhautdicke ab.

Das Ausstraken der Längslinien

Die nächste Arbeit – und das ist wieder eine sehr langwierige, aber auch das Kernstück der ganzen Schnürbodenarbeit – besteht darin, den strakenden Verlauf der Spanten zu prüfen, wobei Wasserlinien, Schnitte und Senten zuhilfe genommen werden. Diese Arbeit erfordert pausenloses Abgleichen und Ausstraken aller Linien, bis alle Maße und Schnitte in allen Ansichten übereinstimmen. Die Werte der Aufmaßtabelle spielen jetzt keine Rolle mehr außer beim Überprüfen grober Unstimmigkeiten. Von nun an werden alle Maße direkt von den Linien auf dem Schnürboden abgenommen.

Wir beginnen normalerweise mit der Konstruktionswasserlinie (CWL). Dazu nehmen wir uns eine der Meßlatten, die länger als das Boot an dieser Stelle breit ist und legen sie mit der winkligen Seite an die Mittschiffsebene an, so daß sie direkt an der Wasserlinie liegt. Dann übertragen wir alle Spantbreiten. Danach wird die Latte auf die zweite Hälfte des Bootes umgelegt und auch diese Breitenmaße werden markiert. Diese Latte nehmen wir nun in den Wasserlinienriß und übertragen die Maße bei jedem Spant.

Im Aufriß schneidet die Wasserlinie den Steven oder den ideellen Steven, und auch dieses Maß müssen wir übertragen, und zwar auf die Mittschiffslinie im Wasserlinienriß. Damit ist das Ende der Wasserlinie markiert. Ist die Durchdringungslinie zwischen Steven und Beplankung angegeben, übertragen wir auch dieses Maß.

Jetzt können wir die Konstruktionswasserlinie im Wasserlinienriß aus straken, wobei wir wieder das bereits beschriebene Verfahren anwenden. Auch hier sollte die Straklatte so wenig wie möglich von den aufgetragenen Punkten entfernt liegen. Auch sie wird zunächst mit einem Bleistiftstrich angerissen. Die Latte wird nun entfernt und wir prüfen, welche Spanten korrigiert werden müssen. Diese neuen Breiten übertragen wir zurück in den Spantenriß, d.h. der Spant muß neu ausgestrakt werden, damit er mit der neuen Wasserlinienbreite übereinstimmt. Hierfür eignet sich wieder eine besonders dünne Straklatte. Die Latte muß auf dem Spant genau durch diese neue Wasserlinie gehen, aber wir versuchen, sie so gut wie möglich wieder durch die anderen Punkte zu legen, allerdings mit einer strakenden Kurve. Bevor wir uns an den nächsten Arbeitsschritt machen, muß wirklich Spant für Spant geprüft werden, um festzustellen, wo überall Korrekturen notwendig sind.

Üblicherweise gehen wir dann zu einer anderen Wasserlinie über, die etwa zwischen der Konstruktionswasserlinie und Seite Deck liegt. Das Verfahren ist genau das gleiche, und auch hieraus ergeben sich eventuell wieder Korrekturen für den Spantverlauf. Es kann sogar vorkommen, daß diese neue Wasserlinie wieder eine Korrektur der CWL erfordert. Dies wird noch häufiger auftreten und wird sich über den gesamten Strakvorgang des Bootes hinziehen. Es gibt keine starren Regeln, welche der Linien zu ändern sind, wenn es zu solchen Unstimmigkeiten kommt. Man sollte die Maße und das Verhältnis der Linien untereinander in den drei Ansichten prüfen. Wie bereits erwähnt, sollte man die Spanten auf ihre Ähnlichkeit hin vergleichen.

Als nächste Linie würde sich z.B. ein Schnitt etwa auf halber Breite anbieten. Im Wasserlinienriß sieht man, wo dieser Schnitt Seite Deck durchdringt. Diese beiden Punkte (Vor- und Hinterschiff) werden nun in den Aufriß übertragen. Damit sind bereits zwei Punkte festgelegt, nämlich die Durchdringung des Schnitts durch Seite Deck. Geht dieser Schnitt durch den letzten Spant, so greifen wir dieses Maß aus dem Spantenriß heraus und übertragen es in den Seitenriß.

Wir nehmen dann eine neue Meßlatte, legen sie im Spantenriß an den entsprechenden Schnitt und übertragen wieder die Schnittpunkte zwischen dieser Linie und den einzelnen Spanten als Höhen über der Basis. Wie bei den Wasserlinien wird die Meßlatte beschriftet. Alle Maße werden aufgetragen und jeweils beschriftet und dann auf die entsprechenden Spantpositionen im Spantenriß übertragen. Nun legen wir wieder die Straklatte durch diese neu aufgeschnürten Punkte und prüfen sie auf ihren Strak hin.

Bei den meisten Schnitten wird es schwierig sein, die Latte in einem Stück über die volle Länge zu biegen. Bei den meisten Rümpfen laufen die Schnitte im Mittschiffsbereich relativ flach und werden zu den Enden hin recht steil. In diesem Fall straken wir den mittleren Teil des Schnittes zuerst, und zwar mit einer relativ steifen Latte, und benutzen dann eine dünnere Latte, um die scharfen Enden auszustraken, wobei man sehr genau auf den gleichmäßigen Übergang zum mittleren Teil achten muß. Besonders bei langen, schlanken Rümpfen wird man feststellen, daß in dem Bereich, in dem der Schnitt plötzlich nach oben biegt, diese Linie für die Bestimmung der Rumpfkontur von recht geringer Bedeutung ist, da sie in einem sehr flachen Winkel durch die Spantkontur schneidet.

Das Ausstraken des Schnittes geschieht in derselben Weise wie für die Wasserlinie. Wenn auch hier wieder Punkte herausspringen, müssen die neuen Schnittpunkte in den Spantenriß zurück übertragen werden. Alle diese Änderungen im Spantenriß müssen erledigt sein, bevor man weitergeht. Wenn die Änderung des Schnittes aber bedeutet, daß der Rumpf eine unerwünschte Form bekommt, muß der Schnitt geändert werden. Man will hiermit erreichen, daß alle Linien, die man in den Wasserlinien- oder den Aufriß übertragen hat, zum Schluß auch wieder strakende Spanten ergeben.

Als nächstes sollte man nun eine Sente nehmen und zwar eine, die zwischen CWL und Kiel liegt. Diese diagonal verlaufende. Linie beginnt an der Mittschiffsebene. Hier ziehen einige Schnürbodenexperten wieder eine separate Mittschiffslinie, und zwar an der Oberkante der Schnürbodenplatte, damit die Sente sich mit den Wasserlinien nicht zu sehr überdeckt. Da Senten mitunter den Wasserlinien recht ähnlich sind, kann es tatsächlich zu einer gewissen Verwirrung kommen, wenn man die gleiche Mittellinie benutzt. Trotzdem arbeiten wir üblich erweise doch von der gleichen Mittellinie, da es später sehr viel schneller geht, die notwendigen Maße beim eigentlichen Bootsbau abzugreifen.

Das Auftragen der Sente ist dem einer Wasserlinie sehr ähnlich. Die Sente wird Steven und Spiegel in einer gewissen Höhe über der Basis schneiden. Am Steven könnte das auf einer Wasserlinie sein, was die Sache vereinfacht. Wir brauchen nur den Punkt zu suchen, wo die Wasserlinie durch die Stevenkontur dringt. Falls das nicht auf einer der angezeichneten Wasserlinien ist, wie in Abb. 9, wird die Höhe y von der Basis bis zum Schnittpunkt der Sente und der Mittellinie im Spantenriß (Punkt

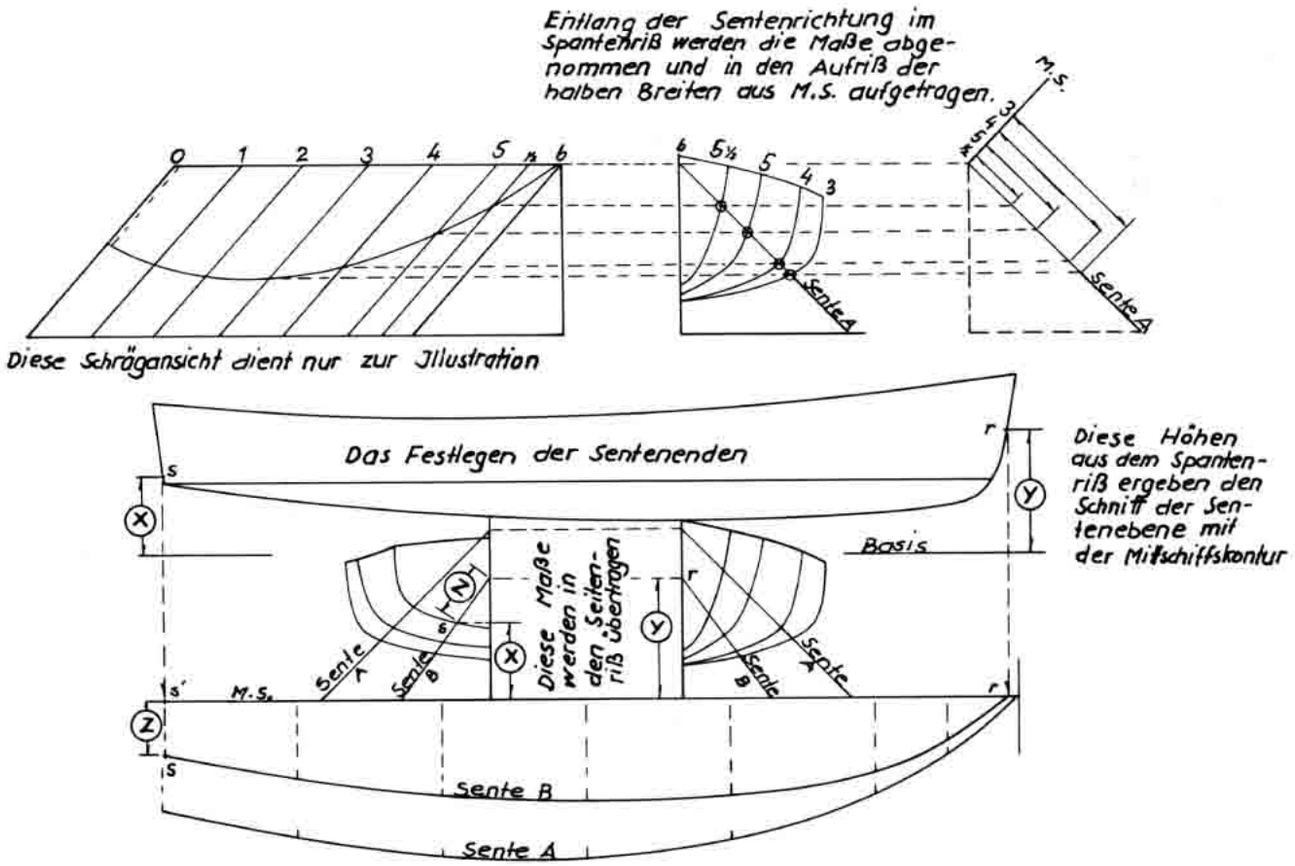

Entlang der Sentenrichtung im Spantenriß werden die Maße abgenommen und in den Aufriß der halben Breiten aus M.S. aufgetragen.
M.S.
0 1 2 3 4 5 5½ 6
6 5½ 5 4 3
Sente A
Diese Schrägansicht dient nur zur Illustration
Das Festlegen der Sentenenden
Diese Höhen aus dem Spantenriß ergeben den Schnitt der Sentenebene mit der Mittschiffskontur
Basis
Diese Maße werden in den Seitenriß übertragen
Sente A
Sente B
M.S.
Sente B
Sente A

Bild 13.9 – Das Abtragen und Ausstraken der Senten.

r) gemessen. Dieses Maß y nehmen wir nun in den Aufriss und markieren die Durchdringung mit dem Steven (Punkt r). Dann fällen wir mit dem Winkel ein Lot auf die Basis, um den Punkt festzulegen, an dem die Sente beginnt (r).

Um die Spiegelkontur auszustraken, brauchen wir den Punkt, an dem die Sente die Spiegelkante durchdringt (Punkt s). In unserem Beispiel würde das in einer Höhe x über der Basis sein. Dieser Abstand x wird in den Seitenriß übertragen, und es wird festgelegt, wo er den Spiegel durchdringt (Punkt s). Danach wird dieser Punkt in den Wasserlinienriß herunterprojiziert (s^1). Der Abstand z aus dem Spantenriß (gemessen entlang der Diagonale von Mitte Schiff bis zur Spiegelkontur). Der Abstand z wird senkrecht zu s^1 im Wasserlinienriß markiert, um den Punkt s zu erhalten, der die Durchdringung der Spiegelkante mit der Sente B darstellt. Die Latte muß also durch diesen Punkt hindurchgehen.

Nun legen wir wieder die Meßlatte an die Sente im Spantenriß an, so daß der Anschlag gerade an der Mittellinie des Schiffes liegt. Die Latte wird wieder beschriftet. Dann werden alle Schnitte zwischen dieser Sente und den Spanten auf die Meßlatte übertragen und durchnummeriert. Auch dies wird wieder auf beiden Seiten des Bootes gemacht, so daß wir für jeden Spant ein Maß übertragen können, und zwar in den Wasserlinienriß. Auch diese Punkte werden mit weichem Bleistift markiert.

Nun folgt wieder das übliche Ausstraken und die Prüfung auf gleichmäßigen Verlauf, mit so wenig Korrekturen wie möglich. Die Linie wird ebenfalls mit Bleistift eingetragen und aus den Unstimmigkeiten ergibt sich wieder die Korrektur zurück in den Spantenriß. Sollten größere Fehler auftreten, muß eventuell die Sente neu ausgestrakt werden.

Nach diesem Verfahren werden nun alle Senten, Schnitte und Wasserlinien miteinander und mit dem Spantenriß abgeglichen. Da wir bisher alles nur in Bleistift markiert haben, muß man mit dem Ändern und Neubeschriften sehr vorsichtig sein. Wie bereits erwähnt, wird es ohne Zweifel einige Änderungen geben müssen, auch an Linien, die in sich bereits straken. Ein Beispiel könnte sein, daß eine Sente dicht an einem Schnitt liegt und dieser bereits ausgestrakt ist. Um nun die Sente ebenfalls zum Straken zu bringen, müssen vielleicht mehrere Spanten geändert werden. Dies könnte nun zur Folge haben

– da ja auch die Spanten in sich straken müssen –, daß einer der Schnitte dicht an der Sente geändert werden muß. Das klingt nach viel Arbeit und so ist es auch. Jede kleine Änderung kann ein neues Ausstraken anderer Linien zur Folge haben, aber zu diesem Zeitpunkt werden diese Änderungen bereits minimal sein, um alle Kurven zum Straken zu bringen. Die Sorgfalt beim Ausstraken auf dem Schnürboden erleichtert später das Aufplanken des Bootes.

In gewisser Hinsicht erinnert uns das Aufschnüren eines Bootes an das Schleifen eines Rumpfes, bevor dieser lackiert werden soll, und zwar insofern, als man irgendwann entscheiden muß, aufzuhören. Die meisten Menschen sind schon ganz glücklich, wenn sie beim Straken eine Genauigkeit von plus/minus 1,5 mm erreicht haben. Bei Booten, die in eine Vermessungsformel passen müssen, arbeiten wir allerdings genauer; wir versuchen so maßgenau wie nur irgend möglich zu arbeiten, so daß das Boot tatsächlich später die gewünschten Vermessungsmaße hat, was für Rennboote äußerst wichtig ist.

Wenn nun das Abstraken aller Linien beendet ist, werden Wasserlinien, Schnitte und Senten in Tusche nachgezogen. Dazu sollte man dieselbe Farbe nehmen, die diese Linien bereits im Netz haben, so daß man sie jederzeit wiederfinden kann. Auch der Spantenriß wird in Tusche ausgezogen, obwohl die Bauspanten, aus denen man Mallspanten oder auch Schotte herstellt, noch um die Plankenstärke vermindert werden müssen.

Das Aufreißen von Bauteilen für den Rumpf

Ist das Abstraken der Rumpflinien beendet, beschreiben sie sehr genau die Form des Rumpfes an jedem gewünschten Punkt. Zusätzlich zur Hauptaufgabe, nämlich die Form der Spanten, Schotte und Mallspanten zu liefern, können die Schnürbodenlinien für das Herstellen besonderer Modelle für Steven und Kiel, Vorrichtungen für das Laminieren und für Beschläge benutzt werden. An verschiedenen Stellen diese Buches wird auf diese Anwendungsmöglichkeiten verwiesen. Wenn Sie Ihr erstes Boot bauen, empfehlen wir, das Buch insgesamt durchzulesen und sich an den Stellen Notizen zu machen, die auf Ihr Vorhaben zutreffen. Damit ist sichergestellt, daß Sie aus dem Aufschnüren des Bootes den größten Nutzen ziehen. Wenn man diese Schnürbodenarbeit als Hilfsmittel zum Bootsbau betrachtet, kann man die Form eines jeden Bauteils vorherbestimmen, das dann auch wirklich genau in den späteren Rumpf hineinpaßt.

Wenn z.B. ein Schott zwischen Spant 3 und 4 angeordnet ist, braucht man nur an dieser Stelle einen Schnitt durch die aufgeschnürten Linien zu legen. Mit einer neuen Meßlatte kann man nun alle Maße genau abgreifen. Mit einer Farbe markiert man z.B. die Kielkontur an allen Schnitten und die Höhe von Seite Deck über Basis. Mit einer anderen Farbe werden alle Wasserlinienmaße und die Breite Deck aus Mitte Schiff abgetragen, und natürlich werden alle abgenommenen Maße beschriftet. Wieder mit einer anderen Farbe werden die Entfernungen der Senten von der Mittellinie abgenommen. Dann nimmt man alle diese Maße und trägt sie im Spantenriß neu auf, so daß man einen Zwischenspant erhält. Mit einer dünnen Straklatte wird dieser neue Spant ausgestrakt. Man hat dann den Querschnitt gen au an der gewünschten Stelle und damit die Umrisse für das Schott, von dem man später dann noch die Beplankungsstärke abziehen muß.

Zusammenfassend kann man also sagen, daß es nichts erfordert, als daß man an einer bestimmten Stelle einen senkrechten Schnitt durch das Schiff legt und dann die einzelnen Maße abgreift, um das Teil in seiner Form gen au zu bestimmen.

Die Entwicklung eines schrägen, platten Spiegels oder eines Schotts

Besitzt das Boot einen flachen Spiegel oder ein Schott und sind beide in einem bestimmten Winkel gegen die Vertikale geneigt, muß man noch ein paar zusätzliche Schritte tun, um deren Kontur zu bestimmen. Abb.10 zeigt die Entwicklung eines leicht ansteigenden Spiegels, aber das Verfahren ist das gleiche, wenn es sich um ein schrägstehendes Schott, z.B. für die Befestigung von Wanten oder Stagen, handelt. Der erste Schritt besteht darin, die Durchdringung von Wasserlinien, Seite Deck und Kiel mit dem Spiegel im Seitenriß festzulegen. Mit Hilfe eines großen Winkels werdern die Linien im rechten Winkel zur Spiegelneigung an den Punkten a, bund c aufgetragen. Man sollte den Abstand sehr gen au überprüfen, was man wiederum am leichtesten mit einer Meßlatte tun kann.

Benutzt man die Spiegelkontur (oder eine Linie parallel dazu, wie in Abb.lO) als Mittellinie, braucht man einfach die Schnitte parallel hierzu in entsprechendem Abstand abzusetzen (Schnittabstand R). Man hat nun ein Netz, das dem des Spantenrisses ähnelt, aber mit einem etwas vergrößerten Wasserlinien abstand .

Jetzt greifen wir die Abstände von der Mittellinie bis zum Schnittpunkt der Wasserlinien (und Seite

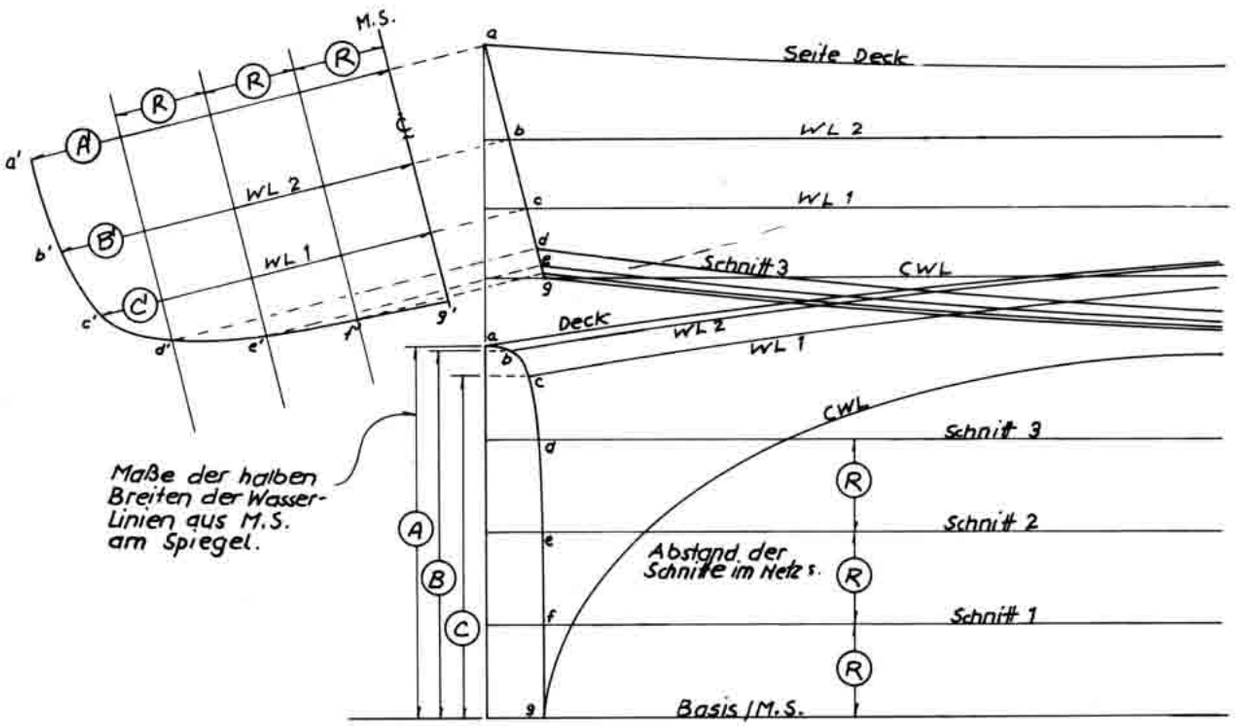


Bild 13.10 – Entwickeln eines geneigten, platten Spiegels.

Deck) und der Spiegelkontur ab (A, B, C). Diese Maße kann man entweder im Wasserlinienriß als halbe Breite abgreifen (wie im Beispiel gezeigt), oder man geht dazu in den Spantenriß. Diese Maße werden nun auf den entsprechenden Wasserlinien abgetragen, so daß sich die Punkte A‘, B‘, C‘ ergeben.

Als nächstes wird die Durchdringung der Schnitte mit dem Spiegel im Aufriß ermittelt. Auch diese Punkte werden senkrecht von der Spiegelkontur abgesetzt, wo sie sich mit den Linien der Schnitte treffen. Bei der Übertragung muß man sehr sorgfältig vorgehen.

Jetzt haben wir eine ganze Reihe von Punkten (a‘, b‘, c‘, d‘, e‘, f‘, g‘), die die wirkliche Kontur des Spiegels beschreiben. Wir nehmen nun wieder eine flexible Latte, die wir schon für die Spanten benutzt haben und legen sie mit Gewichten oder kleinen Nägeln um die markierten Punkte. Die Kielkontur an Unterkante Spiegel läßt sich ebenfalls leicht übertragen. Bei diesem Vorgehen können sich allerdings kleine Unstimmigkeiten eingeschlichen haben, so daß man einige Punkte leicht ändern muß. Wenn allerdings größere Differenzen auftreten, muß man diese zurückverfolgen. Ist nun alles in Ordnung, sieht der Spiegel oder das geneigte Schott so ähnlich aus wie die Spanten, obwohl er durch die Schrägstellung etwas größer ist.

Die Entwicklung eines gekrümmten Spiegels

Bei größeren Yachten ist es nicht ungewöhnlich, daß der Spiegel sowohl gekrümmt, wie auch schräg gestellt ist, entweder nach vorne einfallend oder ausfallend und zwar in einem ganz beträchtlichen Winkel. Spiegel dieser Art zu entwickeln, ist etwas kompliziert, aber die folgenden Hinweise und Abb.11 geben ein übliches Verfahren wieder.

Das Grundprinzip, das bei der Entwicklung dieser Art von Spiegel benutzt wird, ist leicht zu verstehen, wenn man sich vor Augen hält, daß der Spiegel eine Zylinderfläche ist. Er ist also nur in einer Richtung gekrümmt (querschiffs) und in der anderen Richtung gerade (dabei nach vorne oder hinten geneigt oder auch senkrecht). Wenn wir uns den Linienriß ansehen, erkennen wir, daß die Schnittflächen den Spiegel als gerade Linien schneiden, da sie Teile des Zylinders sind. Diese Schnitte benutzen wir, wenn wir den Spiegel abrollen, so daß aus der gekrümmten Fläche eine gerade wird.

Das erste, was man nun machen muß ist, eine Hilfsansicht des hinteren Bootsteils und der Deckslinie zu zeichnen und zwar parallel zur Mittellinie des Spiegels im Profil (Abb.ll). Dazu zeichnen wir die Mittellinie des Spiegels nach oben hin weiter, so daß sie von den übrigen Linien frei liegt. Dicht oberhalb des eigentlichen Linienrisses ziehen wir nun ein Hilfsnetz im rechten Winkel zu dieser Li-

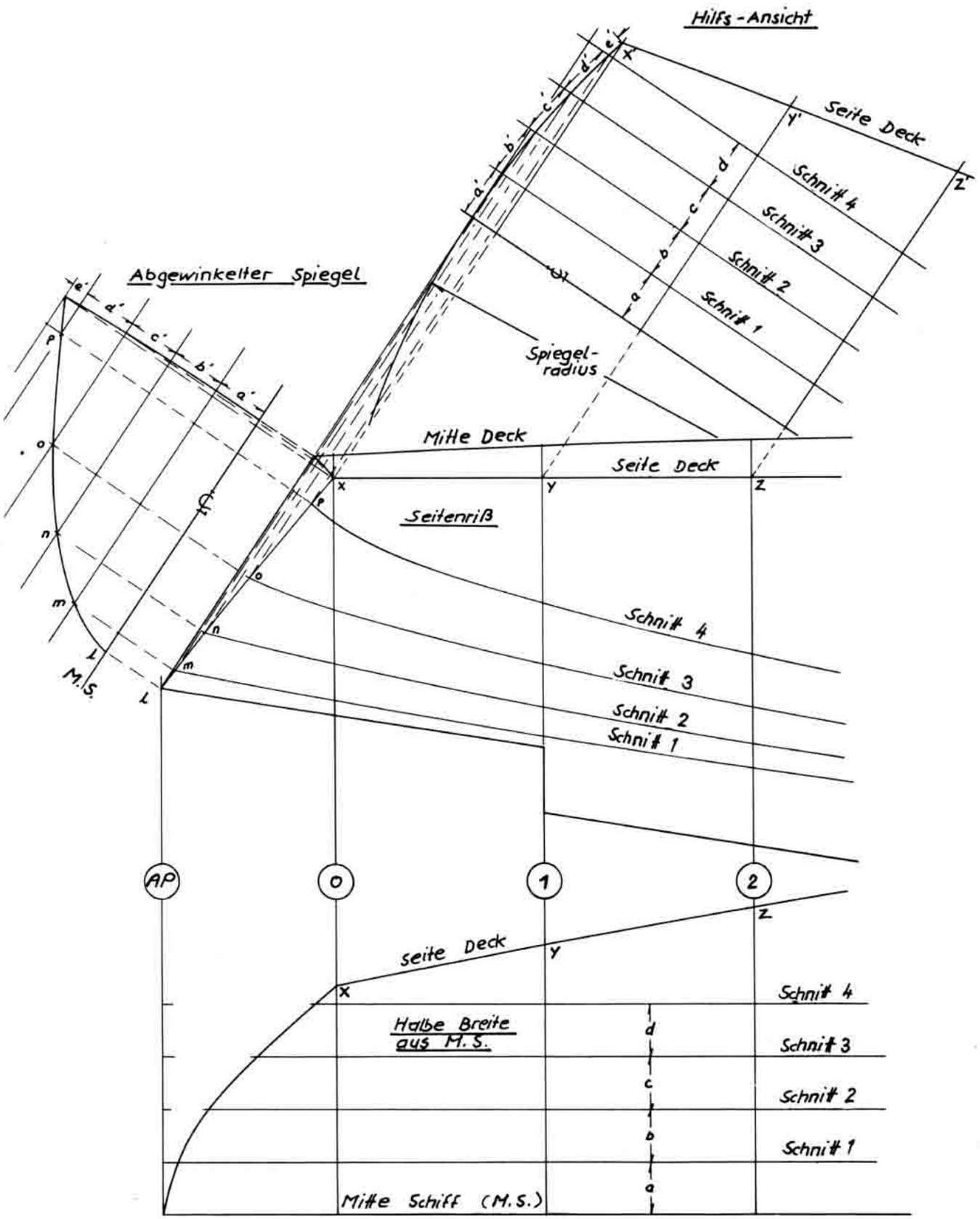


Bild 13.11 – Entwickeln eines geneigten, gekrümmten Spiegels an einer modernen Rennyacht.

nie. Tangential zu dieser Kante schlagen wir einen Kreis, den der Konstrukteur als Spiegelradius angegeben hat. Entsprechend dieser Krümmung wird der Spiegel beim Bau laminiert. Von der neuen Mittellinie dieser Hilfsansicht setzen wir nun die Schnitte in dem gleichen Abstand ab, wie wir sie aus dem Linienriß nehmen (a,b,c,d). Die Schnittpunkte der Schnitte mit der Spiegelkontur werden nun wieder nach unten in den Seitenriß projiziert, wo sie die ursprünglichen Schnitte schneiden.

Wir brauchen nun ebenfalls noch den Schnitt von Seite Deck und Spiegel in dieser Hilfsansicht. Dazu projizieren wir die letzten zwei oder drei Spanten nach oben und tragen die Breite von Seite Deck ab. Die Spanten liegen wieder im Winkel von 90° zur Mittschiffsebene. Die Kurve durch diese Punkte wird nun ausgestrakt.

Als nächstes bereiten wir das Netz für den abgewickelten Spiegel vor. Man kann dazu die Spiegelkontur selbst als Mittellinie nehmen, aber es ist besser, sie ein wenig abzusetzen, da das die Zeichnung übersichtlicher macht. Wir legen nun eine Latte an der Krümmung des Spiegels entlang und messen die wahren Längen zwischen den Schnitten (a‘, b‘, c‘, d‘) und den letzten Abstand bis zu dem Punkt, an dem Seite Deck die Spiegelkontur schneidet. Diese Maße übertragen wir in die neue abgewickelte Spiegelansicht, wiederum senkrecht zu dieser neuen Mittellinie. Genauso verfahren wir mit dem Maß für Seite Deck (e‘). Damit haben wir nun die halbe wahre Breite des Spiegels, wenn dieser flach wäre. Wir gehen nun wieder in die Spiegelansicht im Seitenriß zurück und übertragen die Schnittpunkte der ursprünglichen Schnitte mit den Hilfsprojektionslinien in der gleichen Art senkrecht zur Spiegelkontur (m, n, o, p). Diese Schnittpunkte mit den neuen Schnitten im Abstand a‘, b‘, c‘, d‘ ergeben nun Punkte, die wir mit der Latte untereinander verbinden und so die echte Kontur erhalten.

Es ist auch notwendig, die wirkliche Decksbucht zu kennen. Einige Konstrukteure geben die Decksbucht als Prozentsatz der jeweiligen Breite an, andere zeichnen Mitte Deck mit ein. Wenn wir diese Oberkante zeichnen, machen wir immer eine gewisse Zugabe, damit wir das Holz später entsprechend abarbeiten können. Wir zeichnen diese Linie parallel zu Seite Deck, etwas darüber, wenigstens so hoch wie die Decksbucht am Spiegel sein wird. Man muß diese Linie weit genug ausziehen, damit man einen Schnittpunkt mit der projizierten Mittellinie des geneigten Stevens bekommt. Von diesem Schnittpunkt aus wird eine weitere Linie zu dem Punkt gezogen, in dem sich die Deckslinie in der äußeren Ecke des Spiegels trifft. Diese Kurve erhält mehr Krümmung als sie normalerweise haben wird, damit genügend Holz zum Abarbeiten übrigbleibt.

Wenn wir uns nun die fertiggestellte Arbeit ansehen, stellen wjr fest, daß die Schnittlinien, die wir aus der Hilfsansicht zur Spiegelkante heruntergeprojiziert haben, die Oberkante des Spiegels im Seitenriß schneiden. Diese Schnittpunkte projizieren wir zum jeweiligen Schnitt im Netz des abgewickelten Spiegels. Auch diese Punkte werden mit einer Latte verbunden. Beim späteren Bau stellen wir eine genaue Schablone der Decksbucht an der Spiegelkontur her. Zusammen mit den anderen Decksbalken können wir so die Kante genau abstraken, an der der Spiegel das Deck trifft.

Weitere Erklärungen über das Abwickeln eines Spiegels, ebenso wie über Besonderheiten der Schnürbodenarbeit, finden Sie in den Büchern, die zu Beginn dieses Kapitels genannt wurden.

Das Abziehen der Plankenstärke

Boote werden auf Außenkante Außenhaut aufgeschnürt. Bevor man nun die Rahmen, Spanten oder Mallspanten bauen kann, muß man die Stärke der Beplankung von den aufgeschnürten Spanten abziehen. Wir machen das meistens, bevor wir die

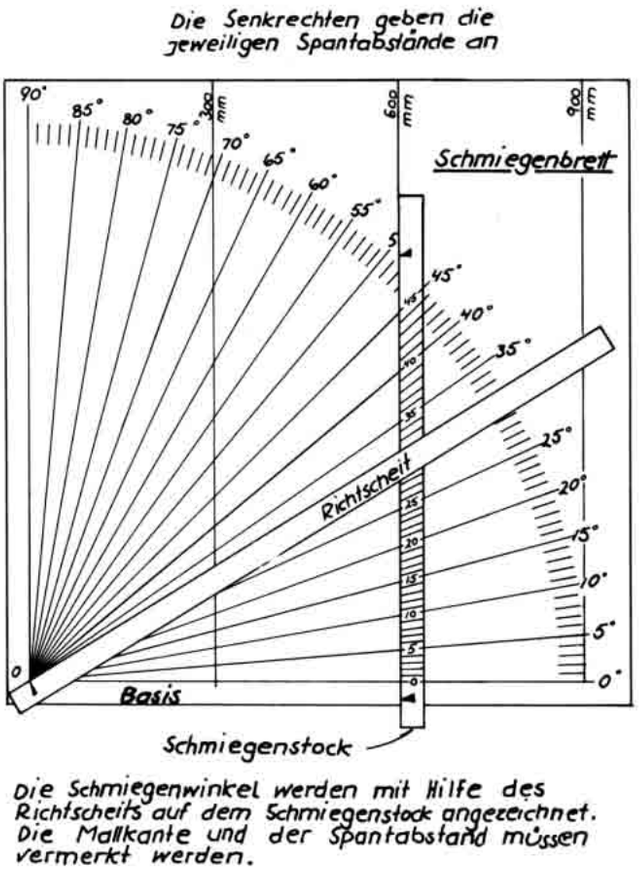


Bild 13.12 – Das Schmiegenbrett.

Linien endgültig abstraken. Dies Verfahren erfordert etwas mehr Arbeit, aber es stellt sicher, daß alle Teile, die wir aus den aufgeschnürten Linien entnehmen, bereits die Plankenstärke berücksichtigt haben. Beim Abziehen der Plankenstärke ergeben sich zwangsläufig einige kleine Unstimmigkeiten. Wenn man das aber vornimmt, bevor noch Senten, Schnitte und Wasserlinien geprüft und der Spantenriß endgültig ausgestrakt wird, werden auch diese Ungenauigkeiten mit ausgeglichen. Am Ende hat man einen etwas glatteren, akkurateren Spantenriß zur Verfügung, aus dem Mallspanten und Schotte abgenommen werden.

Bei einigen Rumpfformen, wie z.B. Weinglasspanten, ist es jedoch sicherer, die Plankenstärke erst dann abzuziehen, wenn man den Rumpf insgesamt ausgestrakt hat, um alle Schwierigkeiten beim Einstraken der Planken in das Totholz zu vermeiden.

Das Verfahren, die Plankenstärke abzuziehen, ist das gleiche, ob man es nun vor dem Ausstraken oder hinterher tut. Entscheidet man sich dazu, die Plankenstärke vor dem Ausstraken abzuziehen, sollte man den Arbeitsschritten, die hier jetzt genannt werden, folgen, sobald man den Spantenriß aufgetragen hat, aber noch bevor Wasserlinien, Schnitte und Senten aus gestrakt werden. Bei langen, schlanken Rümpfen, wie sie z.B. Mehrrumpfboote haben, ist es überhaupt nicht schwierig, die Plankenstärke direkt von den Mallspanten und Bauspanten abzuziehen. Bei Booten mit dickeren Planken und/oder stärkeren Verformungen kann es aber zu Schwierigkeiten führen, wenn die Plankenstärke überall im gleichen Maß von den Spanten abgezogen wird. Wenn wir uns einen Spant irgenwo in der Mitte des Bootes herausgreifen, liegt die Planke fast im rechten Winkel auf. Berücksichtigt man den Winkel, unter dem Planke und Spant zueinander liegen, wird man die Originaldicke finden. Bei Spanten, die dicht am Steven liegen, trifft die Beplankung aber den Spant unter einem erheblichen Winkel, z.B. 20°, dann muß man auch für die Beplankung erheblich mehr abziehen. Dieser Abzug muß je nach Schrägung bei jedem Spant gemacht werden, so daß zum Schluß das aufgeplankte Boot wieder seine Originalaußenmaße hat. Obwohl es verschiedene Arten gibt, um die Plankenstärke zu berücksichtigen, muß man doch bei allen zunächst den Schmiegenwinkel zwischen Spant und Außenhaut finden. Das Maß, das sich durch diesen schrägen Plankenverlauf ergibt, muß dann an jedem Punkt vom Spant abgezogen werden.

Als erstes müssen wir nun eine *Schmiegenlehre* herstellen. Das ist ein Werkzeug, das man längere Zeit benutzen kann, auch für verschiedene Boote, also sollte man Sorgfalt darauf verwenden. Wir nehmen dazu ein Stück Sperrholz, etwa 6 mm dick, das mindestens so lang ist wie die größte Spantentfernung des Bootes, an dem gearbeitet wird. Wir machen es meistens noch etwas länger, so daß es auch für andere Boote zu gebrauchen ist und finden, daß ein Meter im Quadrat ein guter Wert ist. In einer Ecke dieses Brettes setzen wir nun den Stangenzirkel an und schlagen einen Kreis, der so groß ist, wie es das Brett erlaubt, und tragen ebenfalls in diesem Punkt einen 90° Winkel auf (Abb.12). Als nächstes teilen wir diesen Kreisausschnitt in 90 Teile, also für die 90°. Hier muß man sehr sorgfältig vorgehen. Am besten konstruieren wir die 30° Sektoren, teilen dann die 30° wieder in je 5° auf und schließlich einen dieser 5° Sektoren in einzelne Grade. Anschließend machen wir uns eine Schablone, so daß wir diese kleinen Werte auf die anderen Zwischenräume übertragen können. Nun brauchen wir eine gerade Latte, die diagonal über das Brett reicht. Alle 5° Zahlen werden durchgezogen und markiert. Da wir das Brett noch öfter gebrauchen wollen, nehmen wir dazu am besten einen Kugelschreiber.

Die Seite des Brettes mit der 0° Markierung dient nun als Basis. Wir tragen jetzt die Spantentfernung an dieser Basislinie ab und zeichnen sie nach oben hin senkrecht auf. Das sollte mit Bleistift geschehen. Dann schneiden wir uns ein Stück Holz, das länger ist als der größte Spantenabstand im Konstruktionsspantenriß, etwa 3 bis 4 mm dick, mit einer Breite, die genau der Plankenstärke des Bootes entspricht. Diese Latte legen wir nun auf unsere Schmiegenplatte, so daß die eine Kante genau an dieser Spantlinie anliegt und die Unterkante die Basis berührt. Diese Hilfslatte wird mit Klammern befestigt. Mit einem kurzen Richtscheit übertragen wir nun die Winkellinien auf diese Meßlatte und beschriften sie. Die Anlegeseite der Latte muß markiert werden.

Mit dieser Meßlatte gehen wir jetzt in den aufgeschnürten Spantenriß (Abb.13). Nehmen wir an, wir wollen die Plankenstärke bei Spant 4 dicht an der Oberkante absetzen. Dazu legen wir die Schmiegenlatte so, daß der Nullpunkt Spant 4 berührt und lesen die Gradzahl ab, die sich bei Spant 3 ergibt. Nehmen wir an, es sind 20°. Nun legen wir den Nullpunkt wieder an Spant 4 an, wiederum im rechten Winkel und lesen die Gradzahl ab, die sich bei Spant 5 ergibt, sagen wir, es sind 14°. Die Schmiege bei Spant 4 würde demnach dem Mittel-

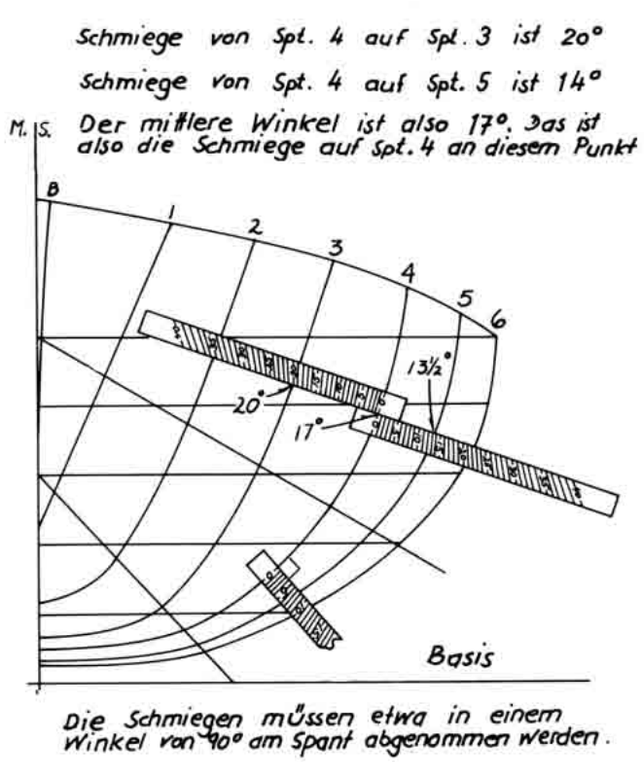


Bild 13.13 – Anzeichnen der Schmiegen mit der Gradlehre.

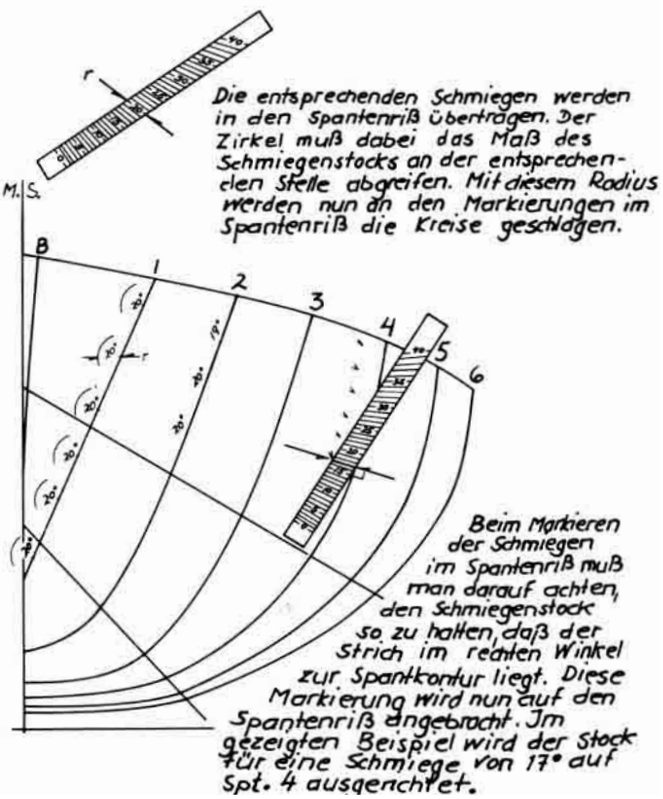

r
Die entsprechenden Schmiegen werden in den Spantenriß übertragen. Der Zirkel muß dabei das Maß des Schmiegenstocks an der entsprechenden Stelle abgreifen. Mit diesem Radius werden nun an den Markierungen im Spantenriß die Kreise geschlagen.
M. S.
B
1
2
3
4
5
6
Beim Markieren der Schmiegen im Spantenriß muß man darauf achten, den Schmiegenstock so zu halten, daß der Strich im rechten Winkel zur Spantkontur liegt. Diese Markierung wird nun auf den Spantenriß angebracht. Im gezeigten Beispiel wird der Stock für eine Schmiege von 17° auf Spt. 4 ausgerichtet.

Bild 13.14 – Zwei Verfahren, um die Plankendicke im Spantenriß abzutragen.

wert entsprechen, also 17°. Die abzuziehende Plankenstärke würde also das Maß sein, daß sich auf der Schmiegenlatte bei 17° ergibt (zur Erinnerung: die Latte hat die gleiche Breite, wie die Außenhaut stark ist). In Abb.14 zeigen wir zwei Methoden, um die Plattenstärke abzuziehen.

Bei Einzelheit A benutzen wir einen Zirkel, mit dem wir einen Kreis schlagen, jeweils mit dem Radius, der sich aus der Meßlatte ergibt. In Einzelheit B drehen wir die Latte und zeichnen jeweils genau die Entfernung an, wobei wir die Latte selbst anlegen. Die Maße werden natürlich im rechten Winkel zur Spantkontur abgetragen.

Wenn zwei Spantkonturen auf der ganzen Länge zwischen Seite Deck und dem Kiel dicht beieinanderliegen, kann man auch die gleiche Plankenstärke auf der gesamten Kontur absetzen. In den anderen Fällen – und das betrifft die meisten Boote – reicht es, wenn man etwa alle 150 mm die Schmiege aufträgt. Bei einigen Mittschiffsspanten wird man feststellen, daß der Winkel so klein ist, daß die wahre Plankenstärke von der geschmiegten kaum abweicht. Die meisten Schnürbodenarbeiter vernachlässigen daher in diesen Fällen die Schmiege. Die Schmiegenwinkel kann man nun auf die Spanten schreiben, so wie man die Plankenstärke abzieht. Nachdem alle Markierungen aufgesetzt sind, wird die neue Kontur mit der Straklatte ausgezogen.

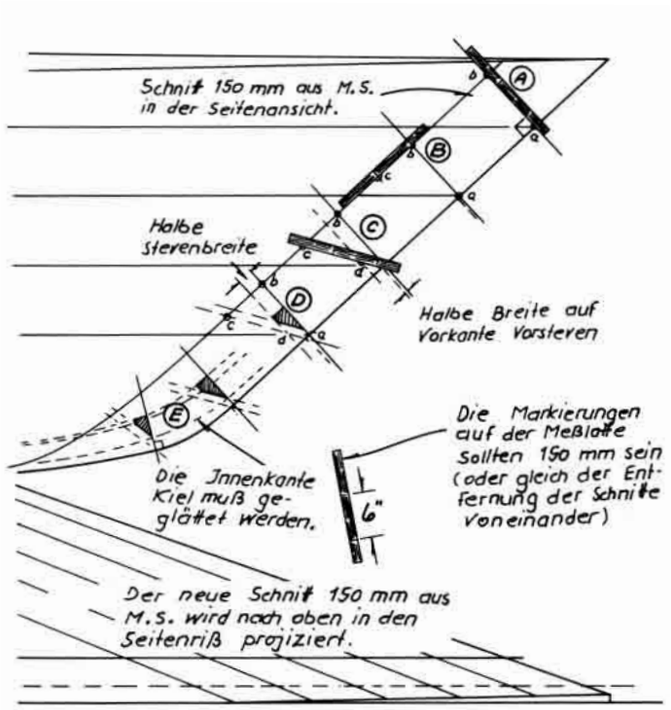

Schnit 150 mm aus M.S. in der Seitenansicht.
A
B
C
D
E
Halbe Sterenbreite
Halbe Breite auf Vorkante Vorsteren
Die Markierungen auf der Meßlatte Sollten 150 mm sein (oder gleich der Entfernung der Schnitte Voneinander)
Die Innenkante Kiel muß geglättet werden.
6"
Der neue Schnit 150 mm aus M.S. wird nach oben in den Seitenriß projiziert.

Bild 13.15 – Festlegen der Schmiegen und der Abzüge für die Außenhautdicke am Innensteven.

Das Abziehen der Plankenstärke am Steven ist etwas aufwendiger. Zieht man die Plankenstärke ab, bevor die Längslinien ausgestrakt sind, muß man eine Schnittebene durch den Spantenriß im Abstand von etwa 150 mm ziehen und die Breiten für das vordere Drittel des Bootes abgreifen. Dann werden diese Maße im Seitenriß aufgetragen. Wird die Plankenstärke abgezogen, nachdem alle Rumpflinien ausgestrakt sind, läßt sich diese Linie sehr einfach aus den Wasserlinien übertragen (Abb.15). An jedem Punkt, an dem eine Wasserlinie die Stevenkontur schneidet, wird nun eine Senkrechte auf dem Steven errichtet und zwar soweit, bis sie den neuen, 150 mm aus Mitte Schiff befindlichen Schnitt trifft (Einzelheit A). An diesem Schnittpunkt wird jetzt wieder eine Senkrechte errichtet, der Abstand 150 mm wird abgetragen und eine Markierung gemacht (Einzelheit B). An dem Punkt, an dem sich die erste Linie und der Steven schneiden, wird die halbe Breite des Stevens im rechten Winkel abgemessen und wieder eine Markierung aufgebracht (Einzelheit C). Diese Markierung wird mit der oberen verbunden. Auf diese Weise hat man nun eine recht gute Darstellung der Schnitte am Steven. Wenn wir jetzt unsere Schmiegenlatte mit der Außenhautbreite anlegen und eine parallele Linie ziehen, haben wir die Form des Stevens abzüglich Beplankung (Einzelheit D).

Als nächstes straken wir die Linie des Innenstevens aus, wobei wir die Punkte benutzen, die wir gerade konstruiert haben (Einzelheit E). Wird die Außenhautstärke abgezogen, bevor die Linien ausgestrakt sind, hat man nun eine genaue Darstellung des Innenstevens, an den die Wasserlinien gestrakt werden können.

Es gibt nur noch einen Bereich, in dem es beim Absetzen der Plankenstärke Schwierigkeiten geben könnte, und das ist der letzte Spant, da es keinen weiteren, dahinter liegenden Bezugsspant für das Festlegen der Schmiege gibt. Für unseren Zweck ist aber dieser eine Winkel ausreichend. Will man die Schmiege des letzten Spants aus dem Schnürboden entnehmen, muß man ein paar Grad zugeben, da die Beplankung auch am letzten Spant gekrümmt einläuft.

Damit ist die wesentliche Schnürbodenarbeit beendet. Man hat nun eine gen aue Beschreibung der Bootsaußenhaut bei jedem Spant, aus dem man nun Mallspanten, Bauspanten, Schotte, Spiegel und andere Teile entnehmen kann.

Kapitel 14

Mallspanten und Bauspanten

Der Bootsbau beginnt, nachdem das Aufschnüren zuende ist. Die ersten Schritte, nämlich das Herstellen der Rahmen bei jedem aufgeschnürten Spant, wird hier und in Kapitel 15 erörtert. Da es eventuell sinnvoll ist, beide Schritte gleichzeitig zu machen, empfehlen wir, beide Kapitel vor Beginn des eigentlichen Bootsbaus zu lesen. Dabei sollte man beachten, daß die meisten hölzernen Boote, nach unseren Bauverfahren selbst sehr große, überkopf gebaut werden.

Obwohl wir uns immer auf die *Konstruktionsspanten* beziehen und annehmen, daß Sie diese für den Bau benutzen, kann man natürlich jede andere Spantteilung wählen. Wir benutzen die Konstruktionsspanten einfach deshalb, weil sie schon einmal aufgeschnürt sind und sich daher anbieten. In den Fällen, in denen Bauspanten dicht an diesen Konstruktionsspanten liegen, kann man natürlich stattdessen auch einen Bauspant einfügen, braucht dann aber eventuell einen zusätzlichen Mallspant, um die Beplankung zu unterstützen. Wenn man sich dazu entschließen muß, zeichnet man ihn einfach in das aufgeschnürte Boot ein. Auch ein Hilfsnetz mit nur ein paar Linien eignet sich für diese Art von Arbeit.

Es gibt zwei Grundtypen von Spanten. *Mallspanten* dienen nur der Formgebung, über die Stringer und Planken verleimt werden. Stellt man eine richtige Form her, dann bleiben diese Spanten in der Form. Sonst werden sie aus der fertigen Rumpfschale wieder entfernt. Aus diesem Grund bezeichnet man sie auch als provisorische Spanten oder Hilfsspanten. Bauspanten dagegen werden mit der Außenhaut während der Herstellung des Bootes verbunden. Sie sind Teile des späteren Rumpfes und nicht der Form. Schotte, Querrippen und andere Teile, die beim Bau benutzt werden, sind in diesem Sinne ebenfalls Bauspanten.

Einige Rümpfe werden nur über Mallspanten gebaut, und alle Versteifungen, Schotte und ähnliche Teile werden später eingebaut. Manche Boote dagegen werden wiederum nur über die tatsächlichen Bauspanten verleimt. Sehr oft muß man aber Mall-und Bauspanten in Kombination einsetzen. Viele Rümpfe, die mit WEST SYSTEM Epoxidharz und Laminiertechniken gebaut wurden, besitzen nicht genügend Querversteifungen, um eine Form herzustellen, so daß zusätzliche Mallspanten erforderlich sind. Unser Ziel ist es immer, so viele Querelemente wie möglich in die Millispanten einzufügen. Das erfordert weniger Arbeit, als wenn man diese Teile alle später in die leere Rumpfschale einpassen muß, und das Ergebnis ist erheblich besser.

Die Planung der Bauspanten

Mit sorgfältiger Planung kann man viele Mallspanten durch feste Einbauteile ersetzen. Dazu gehören Schotte, Querwände von Schränken, Unterbauten für Kojen, Maschinenträger, Bodenspanten, die mit dem Ballast verbolzt werden – alle Bauteile, die querschiffs angeordnet sind und damit Planken und Stringer unterstützen können.

Man sollte eine Liste aller dieser Teile aufstellen, während man noch in der Planungsphase ist, und entscheiden, welche von ihnen man gleich in den Bau einfügt. Man wird feststellen, daß sich nur wenige, wenn überhaupt welche, genau an der Stelle befinden, an der die Konstruktionsspanten aufgerissen wurden. Also wird man die meisten von ihnen neu aufschnüren müssen. Da sie aber ohnehin irgendwann einmal in ihrer Form bestimmt werden müssen, gleichgültig, ob zu Beginn des Baus oder später, ist das kein Zeitverlust.

Durchlaufende Schotte sind sicher die einfachsten Bauteile, die man in die Mallen einfügen kann, da sie die gesamte Rumpfkontur beschreiben, genau wie ein Mallspant. Befindet sich ein solches Schott dicht an einem Konstruktionsspant, kann man den Mallspant an dieser Stelle auslassen, da das Schott die Außenhaut dann wohl ausreichend unterstützt. Ist das Schott allerdings mitten zwischen den Mallspanten, wird man auf diese wohl nicht verzichten können.

Während man seine Bauspanten plant, sollte man ein paar Gedanken an den Vorrichtungsbau verwenden. Alle Teile, die aufgestellt werden, ob nun endgültig oder nur zur Formgebung, erfordern eine senkrechte Abstützung. Die Aufgabe besteht nun darin, diese Abstützungen so zu arrangieren,

daß sie sich nicht gegenseitig behindern. Man kann zwar die mittleren Teile von Rahmenspanten ausschneiden, um Verschwertungen anzubringen – bei Schotten kann man das leider nicht. Für sie braucht man also diagonale Absteifungen, durch die vorgegebenen Ausschnitte, z.B. für Niedergänge und ähnliche Öffnungen.

Ein weiterer Punkt muß beim Einplanen von Schotten berücksichtigt werden, nämlich ob das Schott oberhalb Seite Deck noch weiterläuft (z.B. das Kajütendschott). Falls das der Fall ist, muß man sein gesamtes Spantensystem so hoch setzen, daß diese zusätzliche Höhe mit untergebracht werden kann.

Viele andere Teile, die man ebenfalls mit einbauen kann, sind erheblich kleiner als ein Schott und füllen nur einen Teil der Rumpfoberfläche aus. In diesem Fall kann man das Teilstück also nicht als Ersatz für einen gesamten Mallspant benutzen, obwohl es möglich ist, einen Mallspant entsprechend auszuklinken und dieses Teil dort einzusetzen.

Ein paar weitere Überlegungen, die man beim Einfügen fester Bauspanten und Teile berücksichtigen muß, werden später in diesem Kapitel noch dikutiert. Zunächst wenden wir uns jetzt dem Bau der Mallspanten zu.

Mallspanten

Unser bevorzugtes Material für die Herstellung von Mallspanten ist Spanplatte. Sie ist billig, dimensionsstabil und hat keinen Faserverlauf wie Massivholz. Platten von 1,20 x 2,40 m, etwa 20 mm stark, kann man überall kaufen, da sie als Unterkonstruktion in der Bauwirtschaft benutzt werden, und eine einzelne Platte ist meistens groß genug, um eine Hälfte eines Mallspants herzustellen.

Man kann die Mallspanten natürlich auch aus Massivholz von etwa 20 mm Stärke, das zwischen 100 und 250 mm breit ist, bauen. Wenn man diese Bretter benutzt, wird man üblicherweise die Kontur der Spanten aus mehreren Stücken schneiden und sie dann mit Sperrhozknien zusammensetzen.

Die Aufgabe eines Mallspants besteht darin, die Form des Bootes vorzugeben. Solange die Festigkeit ausreicht, kann man in der Mitte ruhig eine große Aussparung haben, so daß der Spant dann wie ein großes Hufeisen aussieht, oder man kann ihn ringförmig schließen. Sofern diese Festigkeitsüberlegungen zufriedenstellend geklärt sind, muß man nur bedenken, daß sich ein geschlossener Rahmen leichter nach unten hin abstützen läßt als ein offener.

Das Übertragen der Kontur

Sofern der Konstrukteur nichts anderes vorgegeben hat, wird man die Mallspanten an jedem Konstruktionsspant ausschneiden müssen. Die Kontur ergibt sich aus dem aufgeschnürten Spantenriß auf dem Schnürboden. Manchmal geben die Konstrukteure auch zusätzliche Mallspanten vor, besonders dann, wenn die Rümpfe in einigen Bereichen starke Verformungen aufweisen. Diese werden dann als halbe Mallspanten bezeichnet und befinden sich eben in der Mitte zwischen den normalen.

Der aufgeschnürte Spantenriß liefert nun aber nur die Hälfte eines jeden Spants, so daß man jede Kontur zweimal ausschneiden und die beiden dann zusammensetzen muß, um den gesamten Rahmen zu erhalten. Wir empfehlen, nur den halben Spant zu übertragen, und zwar nach einer Methode, die wir noch beschreiben werden. Die zweite Hälfte läßt sich einfacher herstellen, wenn man die erste als Modell benutzt. Den Grund hierfür werden wir später unter der Bemerkung über „Kontrolle der Konturen“ erklären.

Welche Methode man auch immer benutzt, um die Spanten zu bauen – man darf nicht vergessen, die Plankenstärke abzuziehen, bevor man die Kontur überträgt. Manchmal ist es auch notwendig, die Dicke der Beplankung des Modells selbst abzuziehen. Dieser Abzug kann ganz erheblich sein – bei einem später 12 mm starken Rumpf, der auf 20 mm dicken Leisten verleimt wird, muß man also den Mallspant um 32 mm „dünner“ bauen, als die Spantkontur es vorgibt. Es lohnt sich also, den Hinweisen über den Abzug der Plankenstärke in Kapitel 13 zu folgen.

Es erfordert äußerste Sorgfalt, um die Spantkontur auf das Material, mit dem man die Mallspanten baut, zu übertragen. Soweit wir wissen, gibt es vier verschiedene Verfahren. Eine Methode der Übertragung besteht darin, daß man den Spantenriß auf ein Stück Pappe überträgt und dann die Spantkontur quasi als Schablone aussägt. Das funktioniert natürlich nicht, wenn sich die Spanten überschneiden oder auch nur sehr dicht beieinander liegen. Wir empfehlen diese Methode nur dann, wenn man den Spantenriß zweimal aufgezeichnet hat, so daß man ihn einmal zerschneiden kann und den zweiten zum Abnehmen der Maße in der Werkstatt behält.

Eine zweite Methode besteht darin, Transparentpapier aufzulegen, durch welches man die Linien erkennen kann. Das Papier wird auf den Schnürboden aufgelegt und die Linien entweder freihand oder mit einer Latte übertragen. Dann legt man das Papier auf das Mallspantenmaterial und drückt die

Linie auf die Platte durch. Am einfachsten macht man dies natürlich mit einem Stück Kohlepapier und radelt die Kontur durch, aber man kann natürlich auch eine Nadel oder einen Nagel benutzen. Diese Markierungen werden dann mit einer Latte wieder zur Kontur verbunden.

Die dritte und häufigste Methode ist die „Nagelmethode“ , die in Abb.l gezeigt wird. Hierzu braucht man relativ dicke Nägel mit flachen, scharfen Köpfen. Blauköpfe eignen sich dafür besonders gut. Die Nägel werden nun mit dem Kopf in die Spantkontur gedrückt, möglichst senkrecht zum Spantumriß. Man hält den Nagel dazu am Schaft fest und schlägt den Kopf mit einem leichten Hammer so ein, daß der Schaft dann flach auf der Platte liegt. Wieviele Nägel man benötigt, hängt davon ab, wie stark gekrümmt der Spant ist. Dann wird die Mallspantplatte auf die Kontur gelegt, und einfach durch Drauf treten überträgt sich nun durch den Druck der Nägelköpfe der Spantumriß auf die Platte. Diese wird nun entfernt und die Markierungen der Nagelköpfe miteinander verbunden.

Wir haben noch eine vierte Methode entwickelt (siehe Abb. 2 und 3). Hierfür braucht man spezielle Leisten und auch Lattenhalter, was etwas mehr Zeit erfordert, aber das Ergebnis ist sehr gen au und die Arbeit geht flüssig voran. Diese Halter werden auf der Schnürbodenplatte so verschraubt oder angenagelt, daß die Aussparungen am anderen Ende, in welche später die Latten geschoben werden, genau auf der Spantkontur liegen. Diese Halter sind gekröpft, so daß eine Spanplatte darunter geschoben werden kann.

Man braucht meistens mehr als eine Latte, besonders wenn die Stärke der Krümmung im Spant sehr unterschiedlich ist. Am besten eignet sich für diese Latten Esche. Die Stärke der Latte hängt wiederum von der Krümmung der Spantkontur ab: Jede Latte muß sich leicht in die gewünschte Kontur biegen lassen.

Zunächst schneiden wir etwa acht Holzstücke von ca. 35 x 25 x 450 mm Länge. Dies werden unsere Lattenhalter . Am Ende werden ein oder zwei Löcher gebohrt. Man kann lange, dünne Nägel benutzen, die man meistens zur Hand hat, aber sie müssen leicht durch das Loch hindurch passen, allerdings ohne daß die Nägel wackeln. Die Bohrung muß also auf den Nagel abgestimmt sein. Nun

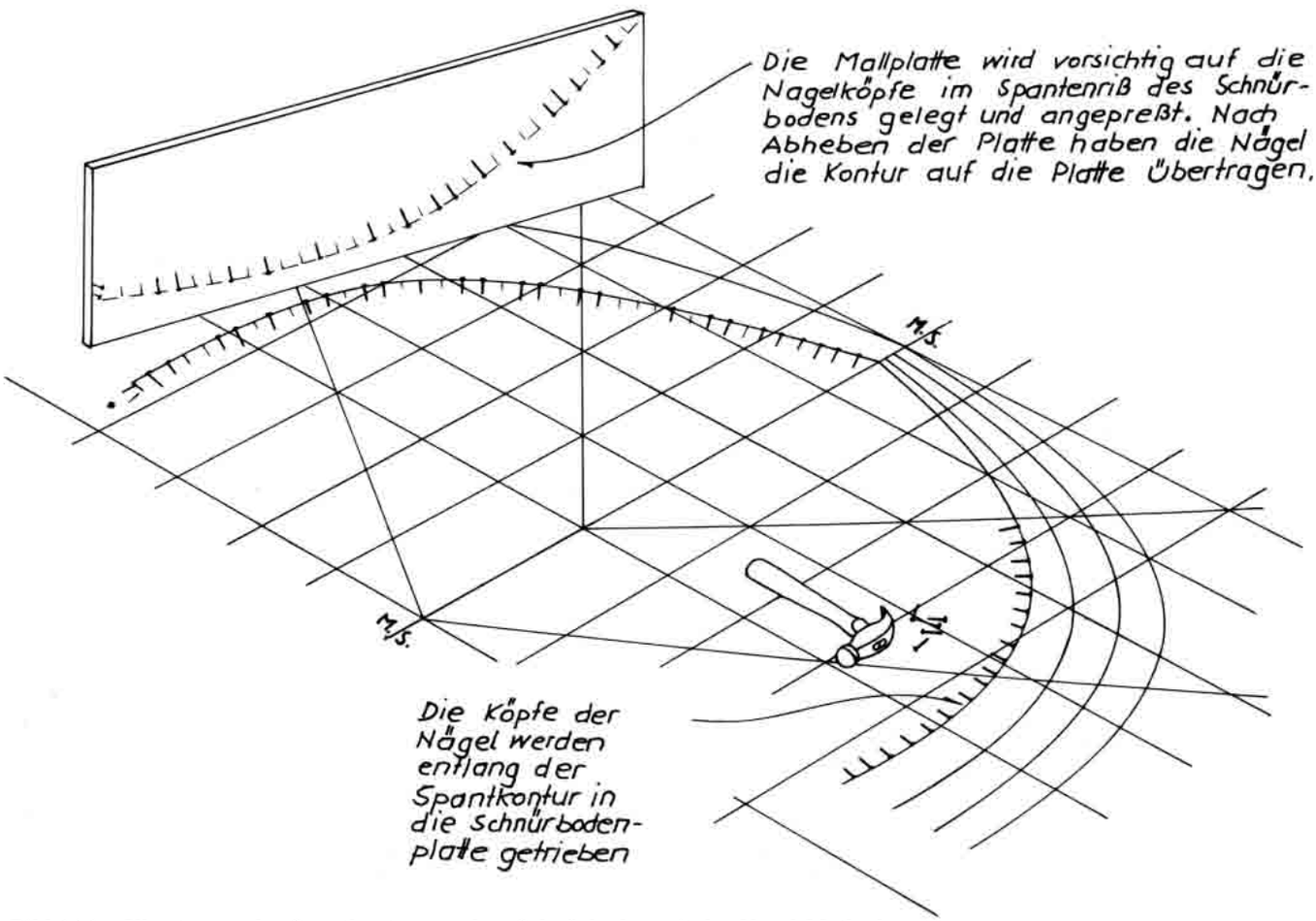

Die Mallplatte wird vorsichtig auf die Nagelköpfe im Spantenriß des Schnürbodens gelegt und angepreßt. Nach Abheben der Platte haben die Nägel die Kontur auf die Platte übertragen.
M.S.
M.S.
Die Köpfe der Nägel werden entlang der Spantkontur in die Schnürbodenplatte getrieben

Bild 14.1 – Ubertragen der Spantkontur aus dem Schnürboden mit der Nagel-Methode.

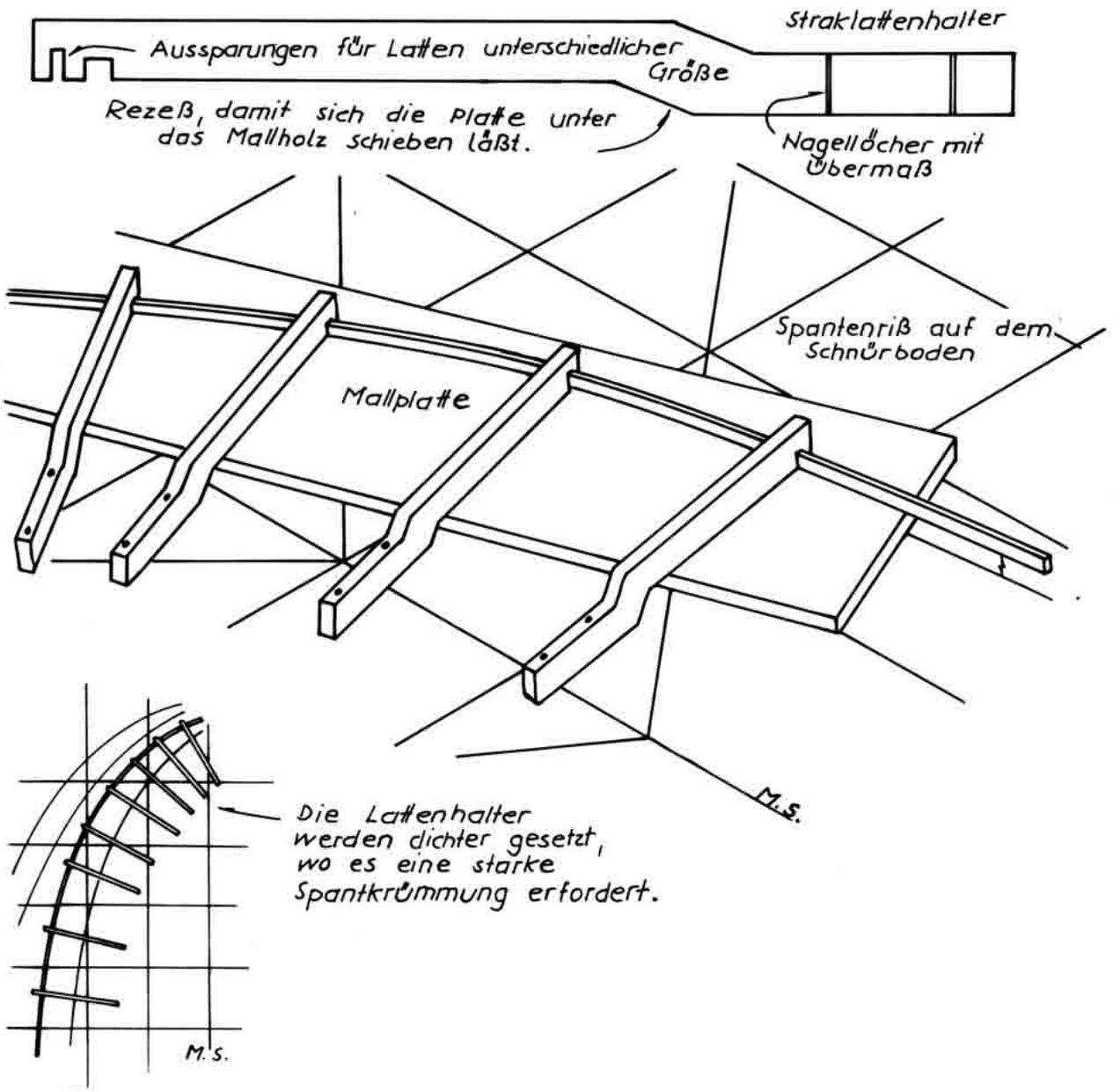

Straklattenhalter
Aussparungen für Latten unterschiedlicher Größe
Rezeß, damit sich die Platte unter das Mallholz schieben läßt.
Nagellöcher mit Übermaß
Spantenriß auf dem Schnürboden
Mallplatte
M.S.
Die Lattenhalter werden dichter gesetzt, wo es eine starke Spantkrümmung erfordert.
M.S.

Bild 14.2 – Lattenhalter werden benutzt, um die aufgeschnürten Spantkonturen auf das Mallholz zu übertragen.

wird ein Ende des Halters gekröpft, und zwar von der Seite her, die später die Straklatten aufnimmt, und zwar bis etwa 25 mm vor das erste Nagelloch. Dieser Ausschnitt sollte etwas keilförmig sein. Die Straklatte fällt dann leichter auf das Holz herunter.

Schließlich muß man sich noch entscheiden, wie die Leisten gehalten werden sollen. Will man das mit Rundkopf-Holzschrauben machen, müssen Löcher in das Ende eines jeden Halters gebohrt werden, und zwar etwa im Abstand von 150 mm auf der Latte. Danach werden flache Scheiben unter die Schrauben gelegt und diese dann soweit angezogen, daß ein Abrutschen nicht möglich ist. Wenn man sich jedoch entscheidet, Nuten zu benutzen, müssen diese so in die Halter eingesägt werden, daß sie unterschiedliche Latten aufnehmen können. Jeder Halter kann z.B. zweimal genutet werden, einmal für eine dünne, ein anderes Mal für eine dicke Latte.

Wenn dies erledigt ist, können wir mit der Übertragungsarbeit anfangen. Dazu werden die Lattenhalter etwa im Abstand von 30 cm über die Latte gelegt. Die innere Kante der Straklatte sollte dabei an der Spantkontur liegen und die Halter werden außerhalb dieser Linie mit Nägeln durch vorgebohrte Löcher befestigt. Die Nägel dürfen nicht ganz eingetrieben werden. Sie sollten etwas herausragen, denn man muß sie ja hin und wieder entfernen können, um den nächsten Spant zu bearbeiten.

Bild 14.3 – Die Decksbucht eines Schotts wird vom Schnürboden auf die Sperrholzplatte übertragen.

Manchmal muß man noch zusätzliche Halter dazwischen setzen, damit die Latte glatt anliegt.

Nachdem nun die Latte gut ausgestrakt und die Nägel befestigt sind, kann man die Platte für die Mallspanten einschieben. Meistens muß man diese Platte noch etwas nachpassen, damit sie nicht mit den Nägeln in Konflikt kommt. Wenn das Material für den Mallspant gut eingepaßt und ausgerichtet ist, wird die Straklatte abgesenkt und die Kontur übertragen, indem man mit einem scharfen Bleistift auf der Innenseite der Straklatte entlangfährt. Der Bleistift muß wirklich scharf sein, damit die Kontur direkt an der Latte entlang geht.

Mallkanten

Nachdem nun die Konturen auf die Platten für die Mallspanten aufgezeichnet sind, aber noch bevor man sie ausschneidet, müssen die Stücke mit der entsprechenden Spantnummer gekennzeichnet werden. Dazu empfiehlt sich ein Faserschreiber. Alle Markierungen müssen auf der Seite angebracht sein, auf der auch die Konturen abgetragen sind. Dies ist die Mallseite des Spants und die äußere Kontur ist die Mallkante.

Der Grund, warum wir eine Mallkante definieren, liegt auf der Hand. Es ist schwierig, eine mit der Hand geführte Maschine wirklich senkrecht zum Werkstück zu halten. Wenn das Sägeblatte sich verkantet, ist die Kontur auf der Ober- und Unterseite unterschiedlich. Am besten ist es also, sich auf eine Linie zu konzentrieren, wenn man sägt. Das heißt, die eine Seite wird dann wirklich formtreu, und es gibt keine Verwirrung, welche Kante nun maßgeblich ist. Die Markierung hilft dabei, immer die gleiche Seite zu bearbeiten.

Wenn die Spanten später aufgesetzt werden, setzt man diese Mallseiten auf die Markierung des jeweiligen Spants auf dem Fußboden oder auf dem Fundament auf. Um das Schmiegen zu erleichtern, fällt die Materialstärke des Mallspants und die Breite des Halteklotzes immer in Richtung des nächsten Bootsendes, d.h. von Mitte Schiff aus nach vorne und von Mitte Schiff aus nach hinten. Beim Hauptspant spielt es keine Rolle, in welche Richtung das Material schlägt. Dieser Spantwechsel wird an der breitesten Stelle des Bootes vorgenommen. Die Mallkante des Spants liegt dann genau über der Spantmarkierung.

Wir müssen hier erwähnen, daß einige Bootsbauer genau das Gegenteil der oben beschriebenen Regeln anwenden und die Materialstärke nach innen fallen lassen und die Stützen außen ansetzen. Auf diese Weise vermeidet man das Schmiegen der Mallspanten. Wir sind allerdings der Meinung, daß es besser ist, die Spanten zu schmiegen, besonders wenn die Außenhaut steif ist und daher beim Biegen einen erheblichen Druck ausübt. Eine dünnen Kante wird diesem Druck nicht immer standhalten und das Eindrücken hat Unebenheiten der Außenhaut zur Folge. Unglücklicherweise drückt sich der Spant aber nicht gleichmäßig ein, daher wird die Beplankung nicht ganz so präzise straken, als wenn die Mallspanten geschmiegt wurden, da nur auf diese Weise die gesamte Mallspantenbreite zur Unterstützung der Außenhaut zur Verfügung steht.

Halbe Mallspanten

Die Mallspanten werden nun mit einer Stichsäge, Bandsäge oder einer anderen Säge ausgeschnitten, mit der man an einer gekrümmten Kontur entlang fahren kann. Sind die ersten Hälften der Spanten ausgesägt, werden sie auf dem Schnürboden wieder auf die Spantkonturen gelegt, um sie auf ihre Maßhaltigkeit zu prüfen. Für jeden Spant muß nun ein halber Rahmenspant da sein, der sofort beschriftet wird. Die Kanten muß man sicherlich etwas nachputzen. Das kann man mit Hobel, Raspel oder grobem Sandpapier auf einem Schleifklotz tun, alles ist dafür geeignet. Die Mallkanten dieser Hälften werden nun benutzt, um die zweiten Hälften genauso anzuzeichnen.

Wir haben schon erwähnt, daß es unbedingt notwendig ist, nur halbe Mallspanten abzunehmen. Der Grund hierfür liegt darin, daß die zweiten Hälften spiegelbildlich angezeichnet werden müssen. Außer bei der Methode mit dem Transparent-

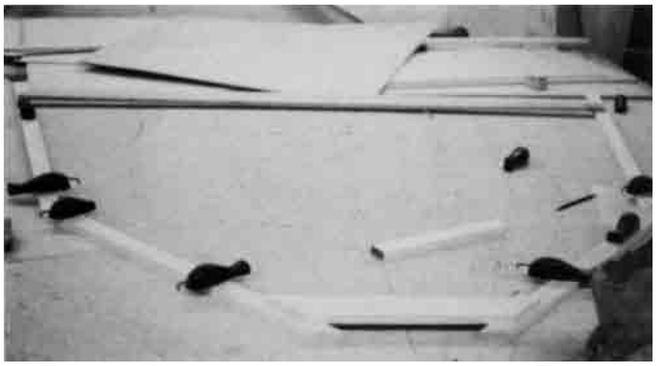


Bild 14.4 – Zupassen und Montage eines Rahmens für den Doppel-Knickspant-Rumpf eines Trimarans.

papier, das man auf Umschlag verarbeiten kann, erhält man sonst nicht zwei Hälften, deren Mallkante auf einer Seite liegt. Das gilt für alle erwähnten Anreißmethoden. Aus diesem Grund ist es notwendig, das Original der ersten Spanthälfte als Muster für die zweite zu benutzen, so daß die Mallkante bei bei den Hälften wieder auf der gleichen Seite liegt, wenn man sie zusammensetzt.

Sind die zweiten Hälften ausgesägt, werden sie ebenfalls markiert und numeriert. Sie können nun mit den Konturen auf dem Schnürboden oder mit der anderen Hälfte verglichen werden.

Der Zusammenbau der Mallspanten

Die beiden Hälften der Modellspanten werden durch ein Sperrholzknie im Kielbereich und durch einen Querriegel zusammengehalten. Dieser Querriegel wird normalerweise dort aufgesetzt, wo sich die oberste, durchlaufende Wasserlinie befindet. Wir finden, daß es sich auszahlt, wenn man diese Teile vorher fertigt, um sie dann später möglichst in einem Arbeitsgang auf dem Schnürboden zu verarbeiten.

Die Sperrholzknie kann man aus 6 bis 10 mm starken Sperrholz abschnitten bauen. Als Höhe reichen 300 mm aus. Diese Knie sollten aber auch eine entsprechende Größe haben, um den Mallspant ausreichend auszusteifen. Es empfiehlt sich, die Sperrholzplatten nicht genau bis zur Kante des Spants zu setzen, da man später wahrscheinlich die Spanten noch schmiegen muß und es keinen Grund gibt, warum man diese zusätzliche Holzstärke auch noch mitbearbeiten soll.

Querriegel werden aus zölligen Brettern von 100 bis 150 mm Breite hergestellt. Das Holz soll gut abgelagert sein, so daß es weder zu stark schrumpft noch quillt. Jeder Riegel muß wenigstens eine gerade Kante haben, da er ja nicht nur zur Versteifung und als Abstandshalter dient, sondern auch als Bezugskante. Obwohl es in den meisten Fällen keine Rolle spielt, halten wir es für besser, wenn die gerade Kante bei dem überkopf stehenden Spant nach oben zeigt. So ist es möglich, über diese Kanten eine Wasserwaage zu legen. Diese Anordnung erleichtert die Kontrolle. Auch die Enden der Querriegel werden etwas von der Außenkante der Rahmen abgesetzt, damit man beim Schmiegen nicht mit ihnen in Konflikt gerät.

Je größer die freie überspannte Fläche eines Riegels ist, desto leichter wird er instabil. Das wiederum beeinflußt seine Eignung als Bezugskante. Wenn das Boot eine große Breite hat, muß der Querriegel sicherlich zusätzlich gegen den Rahmen abgesteift werden. Eine Alternative zu diesem Verfahren besteht darin, daß man den Riegel etwas von der Wasserlinie entfernt setzt und die Wasserlinienmarkierungen mit einer Schnur verbindet. Diese kann dann als Bezugslinie für das Aufstellen der Mallen dienen.

Um die beiden Hälften des Mallspants zu verbinden, wird die Mallseite nach unten auf die Schnürbodenplatte gelegt. Da das Boot nur halb aufgerissen ist, liegt nur die eine Seite an der Spantkontur an, die zweite, spiegelbildliche Seite liegt demnach frei. Um die Hälften nun symmetrisch miteinander zu verbinden, müssen die Aufmaße an der oberen Wasserlinie gemessen und auf die zweite Seite übertragen werden. Man kann eine Markierung aufzeichnen oder auch einen kleinen Nagel einschlagen. Nun werden die beiden Hälften im Kielbereich ausgeklinkt.

Als nächstes wird das Sperrholzknie auf die der Mallseite ab gewandte Fläche aufgebracht. Das sollte mit Leim, Schrauben, Nägeln oder Heftklammern geschehen. Die Lage der beiden Hälften wird nun nochmals geprüft, bevor der Querriegel aufgebracht wird. Zunächst müssen wir aber eine Markierung aufzeichnen, um den Querriegel hier anzulegen. Dazu benutzen wir zwei kleine Anschlagwinkel, die wir genau an die Wasserlinie außen an den beiden Spanthälften ansetzen. Den Riegel benutzen wir nun als Richtscheit und schieben ihn vorsichtig an die Winkel heran. Dann wird die Wasserlinie markiert. Diese Markierung ist dann die Anlegekante, wenn der Querriegel fest angebracht werden soll.

Die Schrauben oder Nägel sind überflüssig, sobald das Epoxidharz ausgehärtet ist, aber wir empfehlen, daß man sie doch benutzt, weil sie die gesamte Arbeit beschleunigen. Wenn man diese Art von Befestigungselementen verwendet, kann man die Hälften des Mallspants zusammensetzen und

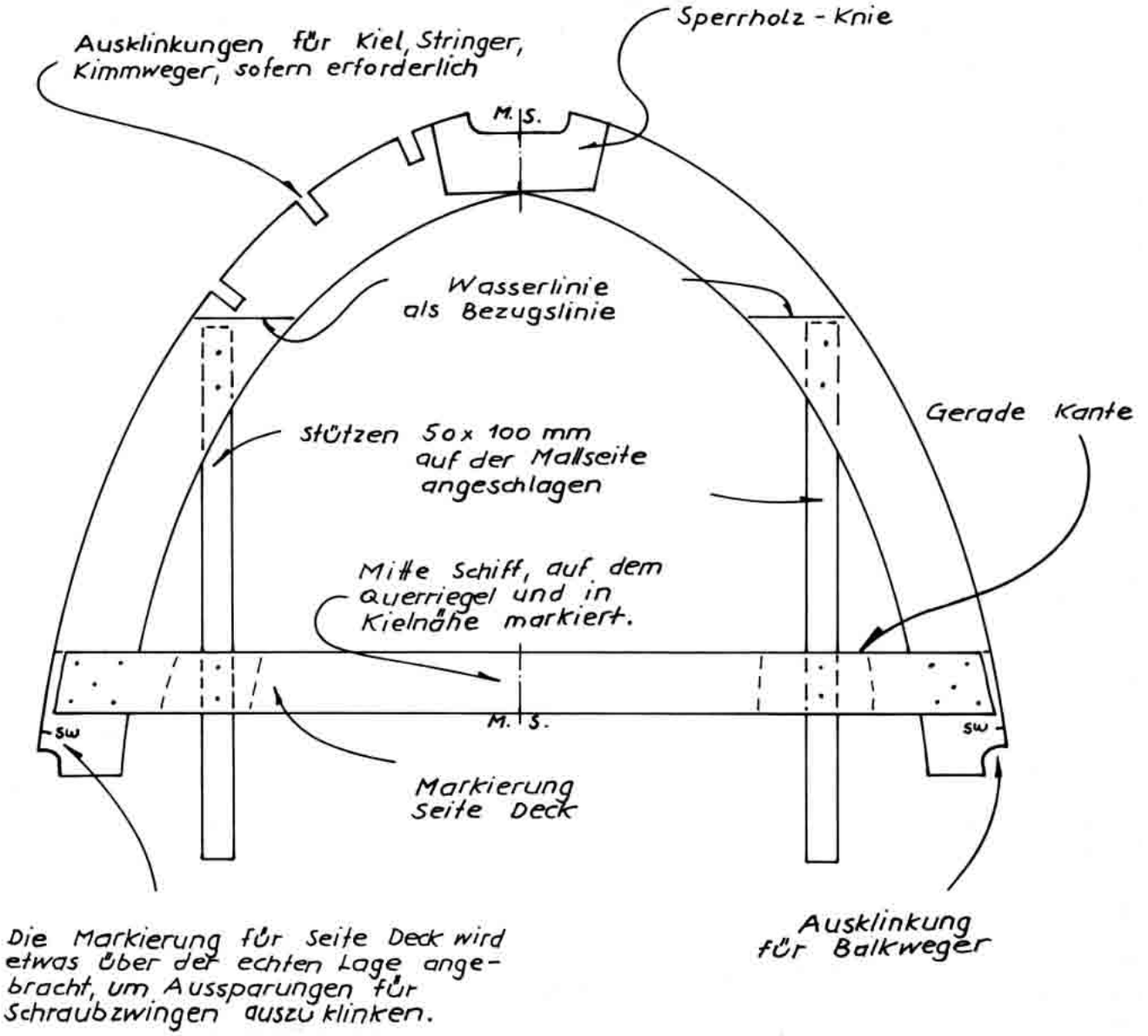

Ausklinkungen für Kiel, Stringer, Kimmweger, sofern erforderlich
Sperrholz - Knie
M. S.
Wasserlinie als Bezugslinie
Gerade Kante
Stützen 50 x 100 mm auf der Mallseite angeschlagen
Mitte Schiff, auf dem Querriegel und in Kielnähe markiert.
M. S.
SW
SW
Markierung Seite Deck
Die Markierung für Seite Deck wird etwas über der echten Lage angebracht, um Aussparungen für Schraubzwingen auszuklinken.
Ausklinkung für Balkweger

Bild 14.5 – Typischer Mallspant mit Stützen und Querriegel, aufgestellt und mit den Bezuglinien markiert.

ihn sofort danach wegstauen und zum nächsten übergehen. Ohne diese Befestigungen würde der Mallspant recht zerbrechlich sein, bis das Harz endgültig gehärtet ist. Alle Rahmen sollten trotzdem besonders vorsichtig gehandhabt werden, bis das Harz ausgehärtet ist.

Wenn man die Mallspanten in der beschriebenen Art baut, muß man sie nach dem Aufbau der Außenhaut zerstören, um sie aus dem Rumpf zu entfernen. Sind Stringer und Balkweger eingelassen und mit der Beplankung oder Furnieren überdeckt, kann es schwer sein, die Mallspanten wieder zu entfernen. Baut man nur ein Boot, wird man sich darum keine Gedanken machen müssen. Will man aber die Mallspanten öfter benutzen oder sie jemandem überlassen, muß man sie mit Holz- oder Maschinenschrauben montieren und nicht mit Epoxid verkleben, so daß man sie nach dem Beplanken wieder herausnehmen kann.

Sind Knie und Querriegel montiert, müssen Bezugslinien geschaffen werden. Die Kante des Querriegels ist eine dieser Bezugslinien. Sie wird markiert und zwar mit der Bezeichnung der Wasserlinie. Auch die Mittschiffsebene muß angezeichnet werden. Dazu wird ein Richtscheit über die aufgeschnürte Mittellinie des Bootes gelegt, und mit Hilfe der zwei kleinen Winkel übertragen wir die Linie vom Schnürboden auf dieses Richtscheit. Das wird nun als Führung benutzt, um eine Linie quer über den Riegel und das Kielknie zu ziehen.

Bild 14.6 – Verleimen einer Dopplung an einen Bauspant.

Zum Schluß muß nun noch Seite Deck markiert werden. Das kann aber einfach an der auf dem Schnürboden liegenden Kante geschehen. Sobald die Rahmen aufgehoben werden, kann diese Markierung dann auf die Mallseite übergerissen werden. Dies ist auch wirklich notwendig, da auf der abgewandten Seite die Markierung verloren gehen kann.

Die Markierung Seite Deck wird während des AufsteIlens der Rahmen – anders als die Wasser- und die Mittschiffslinie – nicht benötigt. Sie kommt erst später wieder ins Spiel, wenn nämlich der Balkweger eingezogen wird. Die Markierung muß also recht dauerhaft und leicht erkennbar sein, so daß man sie später ohne Schwierigkeiten wiederfindet.

Einige gmndsätzliche Hinweise

Sieht die Bauweise vor, daß Längsstringer in die Mallspanten eingelassen werden und sind diese bereits auf dem Schnürboden mit aufgerissen, können die Markierungen nun auf die Mallen übertragen werden. Stringer verlaufen aber nicht in Richtung der Wasserlinien; setzt man sie also auf der ab gewandten Seite ab, führt das später zu Verwerfungen. Außer bei langen, schlanken Rümpfen mit wenig Schmiege, empfehlen wir, die Ausklinkungen für die Stringer erst dann vorzunehmen, wenn die Mallen aufgestellt sind. Entscheidet man sich aber, sie jetzt bereits einzupassen, muß man sehr sorgfältig planen und die Aussparungen ein wenig enger machen, als sie später benötigt werden.

Sieht der Bauplan vor, daß der Scheitelpunkt der Rahmen für einen Kiel ausgeklinkt werden soll, muß das Kielknie groß genug sein, um den Mallspant durch dieses Ausklinken nicht übermäßig zu schwächen. Man spart sich außerdem viel Ärger, wenn man Nägel und Schrauben nicht in dem Bereich anbringt, in dem man später noch sägen muß. Man kann natürlich alle Nägel und Schrauben nach dem Aushärten des Klebers entfernen. Wenn man sie aber gleich dort anbringt, wo sie später nicht stören, vermeidet man auf diese Art Arbeit.

Das Anbringen der Stützen

Stützen von 50 x 100 mm sind praktisch für jede Bootsgröße geeignet. Bei kleineren Booten reichen natürlich auch geringere Abmessungen. Diese Stützen müssen nicht gerade aus dem besten Holz der Welt hergestellt werden, aber sie sollten doch sorgfältig angebracht und gut abgelagert sein, so daß sie einigermaßen gerade bleiben. Diese Stützen oder „Füße“ werden auf der Mallseite des Spants mit Nägeln oder Schrauben und Epoxidharz befestigt. Man kann diese Füße auch verleimen, unabhängig davon, ob man die Rahmen später noch einmal verwenden will oder nicht. Werden die Rahmen später in der Mittellinie getrennt, können die Stützen nicht stören, wenn die Mallen aus dem Rumpf entfernt werden.

Am sinnvollsten ist es, diese Stützen parallel zur Mittellinie anzuordnen, so daß sie während des AufsteIlens mit dem Lot kontrolliert werden können. Die Mallseite des Rahmens ist meistens nicht plan, so daß man nicht genau erkennen kann, ob der Rahmen wirklich senkrecht steht. Wenn aber die Seiten der Stützen gerade und parallel zur Mittellinie angeordnet wurden, kann man die Wasserwaage an ihnen anlegen.

Sind die Stützen nun vertikal ausgerichtet, werden sie gegen den Rahmen verschwertet. Beim Einpassen von Balkweger, Stringer, Kiel und anderen Bauteilen werden die Rahmen nachgerichtet. Sobald diese Teile befestigt sind, ist die Mallseite der Rahmen für den Bau ausreichend gut ausgerichtet.

Das Anbringen der Stützen ist bei geschlossen Rahmen kein Problem. Am einfachsten geschieht das, wenn der Kontrolldraht in der Mittschiffsebene bereits angebracht ist. Parallel und im gleichen Abstand wird diese Linie auf jedem Mallspant markiert. Der Abstand sollte so gewählt werden, daß die Stützen nach dem Aufstellen direkt am Fundament anliegen.

Bei einem offenen Rahmen ist es natürlich nicht möglich, diese Stützen auf der vollen Länge anliegen zu lassen. In diesem Fall werden sie am Mall-

spant und am Querriegel befestigt. Da die Oberfläche des Querriegels aber nicht in der gleichen Ebene wie die Mallfläche des Spants liegt, muß hier ein Stück Holz eingefüttert werden, wozu sich natürlich am besten Abfall vom Bau der Rahmen selbst eignet, da es die gleiche Dicke hat. Die Linie zum Ausrichten der Stützen wird aufgeschnürt und dann die Stütze selbst angebracht.

Die Höhe dieser Stützen ist willkürlich, aber sie muß für alle Spanten gleich sein. Man wählt also eine Höhe, die später ein leichtes Arbeiten an der Rumpfoberfläche gestattet. Wenn der Zusammenbau auf dem Fußboden vorgenommen wird und nicht auf einem Fundament, müssen die Stützen aller Mallen so nachgepaßt werden, daß die Bezugswasserlinie auf den Rahmen (wenn die gleiche Wasserlinie als Bezugslinie für alle Spanten benutzt wird) einen gleichen Abstand vom Kontrolldraht hat. Werden als Bezugslinie verschiedene Wasserlinien benutzt, müssen hierfür Zugaben gemacht werden, wenn die Länge der Stützen bestimmt wird.

Bei Montage auf einem Fundament können diese Stützen auch länger sein. Dann sollten aber die Entfernungen bis zu den Oberseiten der Befestigungsklötze auf den Stützen markiert sein, um zu Beginn des AufsteIlens einen gewissen Anhalt zu haben.

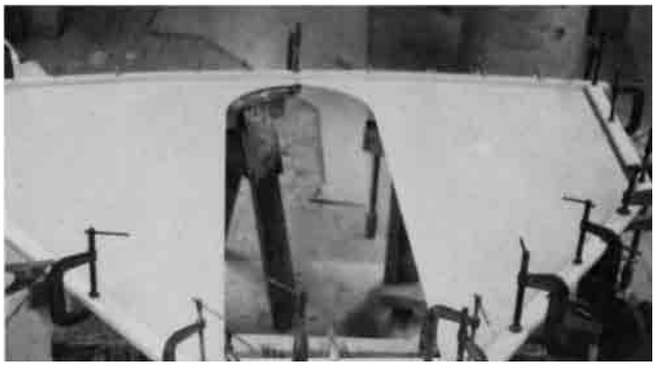


Bild 14.7 – Verleimen von Dopplungen auf einem Schott.

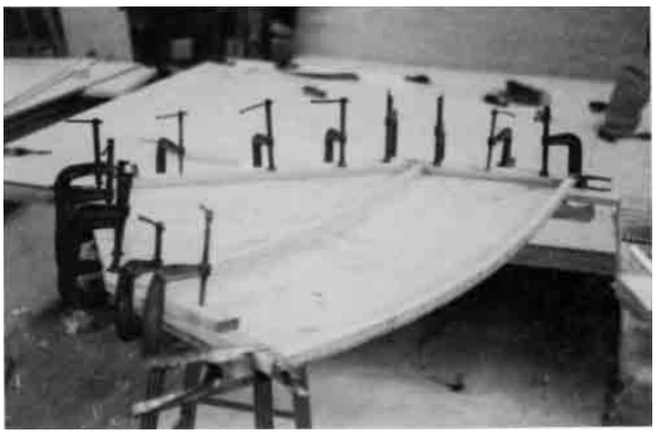


Bild 14.8 – Bau eines formverleimten Spiegels mit Dopplungen an den Kanten.

Eingebaute Rahmen

In diesem Kapitel haben wir bereits empfohlen, daß die Materialstärke der Rahmen so ausgerichtet sein sollte, daß sie später für die Aufnahme der Beplankung geschmiegt wird. Wir haben auch darauf hingewiesen, daß man die Wahl hat, die Materialstärke nach innen fallen zu lassen und damit ein Schmiegen zu vermeiden, wenn man der Meinung ist, daß die Mallkante fest genug ist, um dem Druck ohne Verformung standzuhalten.

Bei eingebauten Spanten hat man diese Wahl nicht. Alle Kanten müssen sorgfältig geschmiegt werden, so daß die Beplankung auf der vollen Breite anliegt. Unser Verfahren, um die Schmiegen mit Latten und einer Handsäge herzustellen, wird in Kapitel 15 beschrieben. Dieses Verfahren eignet sich sowohl für Mallspanten wie auch für feste Einbauteile; wir empfehlen aber, bei den festen Bauteilen vorsichtiger vorzugehen.

Bei einem Bau, in dem man sowohl Mallspanten wie auch feste Bauspanten verwendet, sollten zunächst die Mallspanten geschmiegt werden und dann erst die festen Einbauteile, diese allerdings mit einem etwas kleineren Winkel, als man ihn eigentlich benötigt. Selbst wenn man zunächst mit einer Hobelmaschine arbeitet, sollte man die letzten Feinarbeiten mit dem Handhobel vornehmen. Zwischendurch wird immer wieder mit Straklatten geprüft, wie weit die Schmiege schon stimmt.

Der Grund, warum man beim Schmiegen fester Einbauteile so vorsichtig vorgehen sollte, liegt einfach darin, daß man sich keine unnötige Arbeit machen soll. Hat man einen Mallspant zu stark geschmiegt, kann man die fehlende Kontur wieder mit angedicktem Harz, Sperrholz oder was auch immer ergänzen. Es spielt keine Rolle, wie ein Bauteil aussieht, das später nicht im Boot bleibt. Bei einem festen Rahmen oder Spant ist das allerdings etwas anderes, und eine gute Passung zur Beplankung ist sowohl aus Gründen der Festigkeit wie des guten Aussehens unabdingbar.

Auch beim Anbringen der Querriegel und Stützen zählt beim festen Spant oder Rahmen das spätere Aussehen. Diese Hilfsbauteile werden genauso angesetzt wie bei den Mallspanten, aber nur mit Schrauben und nicht mit Kleber. Das Ansetzen der

Stützen an feste Rahmen erfordert etwas mehr Aufmerksamkeit. Wenn man diese nicht walten läßt, wird der Rahmen später sichtbare Spuren der Befestigung tragen.

WEST SYSTEM Epoxid kann zwar Fugen füllen, allerdings wird das Boot leichter, hübscher und auch billiger, wenn man die Passungen nur im Holz selbst ausarbeitet. Falls man allerdings einmal zu stark geschmiegt hat und man nur die Wahl hat, das Bauteil entweder wegzuwerfen oder die Fuge mit Epoxid aufzufüllen, sollte man sich für das Harz entscheiden. Bei größeren Fehlern empfiehlt es sich, Dopplungen aus Holz aufzusetzen und die Schmiege neu aufzubauen.

Will man ein festes Einbauteil herstellen, wird die Mallkante wieder an der Stelle eingezeichnet, die nach Mitte Schiff liegt, also die größte Kontur darstellt. Wenn dann dieses Teil ausgeschnitten wird, ist das bereits die Mallkante. Wie in Kapitel 15 beschrieben, wird die Linie auch in das Baufundament eingezeichnet und ein Fußblock angebracht.

In den Bauplänen wird üblicherweise angegeben, wie stark die Sperrhölzer für Schotte, Schrankwände und Kojenunterbauten sein sollen. Ein größeres Schott z.B. aus 20 mm dickem Sperrholz wird kaum jemals nur stumpf auf die Beplankung stoßen. In den meisten Fällen sind entweder einseitig oder auch auf beiden Seiten Auffütterungen oder Dopplungen vorgesehen. Letztere sollen die Oberfläche an der Verbindung vergrößern und werden sowohl mit dem Schott wie auch der Außenhaut verleimt.

Wir sind der Meinung, diese Dopplungen zunächst zu lamellieren, sie dann mit dem Schott zu verbinden und diese Einheit dann insgesamt aufzustellen. Wird die Dopplung auf der Mallseite angebracht, muß sie etwas größer sein, als diese Kante vorgibt, damit man dann entsprechend Material zum Schmiegen hat. Soweit möglich sollten aber die Auffütterungen auf der Seite angebracht werden, die später ohnehin geschmiegt werden muß. Diese Arbeit geht dann leichter vonstatten.

Grobes Anpassen fester Einbauteile

Wenn man nun beginnt, den Rumpf über die Mallen und festen Einbauteile abzustraken, die Spanten aber noch nicht geschmiegt sind, entsteht eine Komplikation, wenn feste Rahmen eingebaut sind. Benutzt man nur Mallspanten, die alle die gleiche Materialstärke haben, liegen die der Mallseite abgewandten Konturen alle im Verhältnis zur Mallkante gleich weit entfernt, so daß das erste grobe Straken ohne Schwierigkeiten vorgenommen werden kann. Mit anderen Worten: wenn das Material der Mallen z.B. 15 mm dick ist, liegen die abgewandten Seiten mehr oder weniger in einer Linie mit den Mallkanten und etwa 15 mm von ihnen entfernt. Beide Seiten eines festen Rahmens oder Schottes liegen auch wieder zueinander in einer Linie, aber sie wird erheblich von diesen 15 mm abweichen. Ist das der Fall, ist dieses erste Schmiegen sehr viel schwieriger.

Sind es feste Einbauteile, also dicker als die Mallspanten, liegt die Lösung darin, eine vorläufige Schmiege anzusetzen. Nehmen wir an, daß z.B. ein Schott zusammen mit seiner Auffütterung 50 mm, die Mallspanten jedoch nur 15 mm dick sind. Man zieht dann eine Linie auf dem Schott oder der Dopplung, die ebenfalls 15 mm von der Mallkante entfernt liegt, so daß die Straklatte sich über diese Kante legt. Das darüber noch hinausgehende Material der Dopplungen wird etwas abgearbeitet, da es später ohnehin wegfallen würde, so daß man die Arbeit recht flüssig vornehmen kann. Da auch dieses Bauteil jetzt die 15 mm Linie hat, über die die Straklatten gezogen werden, kann das Stück zusammen mit den anderen abgearbeitet werden.

Bauteile, die dünner sind als das Material der Mallen – glücklicherweise sind es nur wenige, wenn sie überhaupt vorkommen – müssen aufgedoppelt werden, bis sie die Stärke der Mallspanten haben. Nehmen wir an, daß dieses Bauteil 10 mm stark, die Mallen jedoch 15 mm stark sind. Man wird also Holzstücke von 5 mm aufbringen, so daß wir wieder die Stärke der Mallspanten haben. Das braucht nicht dauerhaft zu sein, es reicht, wenn man dieses Holz mit Schraubzwingen ansetzt und es von Straklatte zu Straklatte mitnimmt.

Das Vorbeschichten des Holzes

Es ist einfacher, Bauteile auf dem Fußboden zu bearbeiten als in einem Rumpf. Aus diesem Grund empfehlen wir, so viele Teile wie möglich vorzufertigen. Wenn man z.B. an einem Schott arbeitet, könnte man die Ausschnitte und Rahmen für den Niedergang einbauen, bevor man das Schott einsetzt. So ist auch das Vorbeschichten mit WEST SYSTEM Epoxid, das in Kapitel 11 beschrieben wird, normalerweise schneller zu diesem Zeitpunkt zu bewerkstelligen und das Ergebnis ist auch besser, als wenn man diese Teile später im fertigen Rumpf weiter bearbeiten muß. Alles, was man erledigen kann, solange die Teile noch frei in der Werkstatt auf der Arbeitsplatte liegen, sollte erledigt werden, bevor man mit dem Zusammenbau beginnt.

Wir haben Schwierigkeiten, Bootsbauer von den Vorteilen dieser Oberflächenvorbehandlung zu überzeugen. Wir glauben, daß es hauptsächlich daran liegt, daß das Vorbeschichten bei anderen Bootsbauverfahren nicht funktioniert. Bei einer konventionellen Bauweise, in der Farben und Lacke zur Oberflächenbeschichtung und ein anderer Stoff als Leim benutzt werden, kann es durchaus sein, daß diese verschiedenen Komponenten nicht miteinander verträglich sind. Wenn man aber Holz/Epoxid Bauverfahren mit WEST SYSTEM Harz sowohl für die Beschichtung wie die Verleimung benutzt, gibt es das Problem der Unverträglichkeit nicht. Wird ein Schott oder werden Stringer mit Epoxid beschichtet und dann mit dem gleichen Epoxid im Rumpf verklebt, ergibt das eine homogene Verkapselung und Verbindung. Es spielt dabei keine Rolle, daß die Harzbeschichtung bereits hart ist, wenn das Harz als Kleber aufgebracht wird.

Bild 14.9 – Vorbeschichten von Rahmenspanten eines 18 m langen Trimarans.

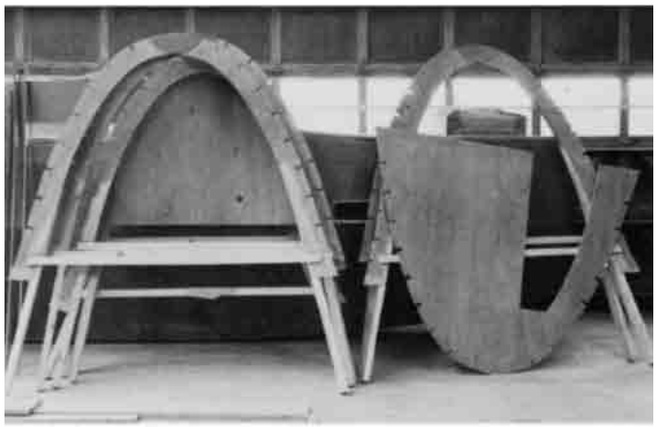


Bild 14.10 – Die Rahmenspanten sind fertig zum Aufstellen. Stützen und Querriegel sind schon angebracht. Die Rahmen sind vorbeschichtet und zeigen die Ausklinkungen für die Stringer.

Das Vorbeschichten spart Zeit und schützt die Bauteile vor kleineren Verletzungen. Ausgehärtetes WEST SYSTEM Epoxid ist sehr hart. Es widersteht daher auch kleineren Schlägen. Die Beschichtung ist allerdings nicht unzerstörbar. Man kann sie beschädigen, also sollte man vorsichtig arbeiten.

Wird ein vorbeschichtetes Schott in den Bau eingefügt und Harz quillt an den Klebestellen heraus und läuft ab, sollte es abgewischt werden oder in den Stößen auch in Form einer kleinen Spachtelkehle verstrichen werden. Harztränen auf einem Schott sind unansehnlich, also sollten sie vor dem Aushärten abgewischt werden. Falls diese Tropfen aber doch einmal aushärten, ist das auch kein Unglück; man braucht nur etwas mehr Zeit, sie später herunterzuschleifen.

Kapitel 15

Das Aufstellen der Rahmen

Das Aufstellen der Rahmen auf dem Fundament, so daß sich die Kontur des Bootes ergibt, ist einer der – im positiven Sinne – aufregenden Abschnitte des Bootsbaus. Wenn das Aufschnüren und der Bau der Rahmen präzise vorgenommen wurden, sieht man endlich die Form des Bootes.

Zunächst muß man ein Fundament errichten, daß widerstandsfähig genug ist, um alle Bauteile zu halten und zu unterstützen, bis sie untereinander verbunden sind und der Rumpf schließlich abgenommen werden kann. Dies Fundament kann einmal der Fußboden selbst sein, aber auch aus hölzernen Längs- und Querträgern bestehen. Die Rahmen werden über das Fundament gestülpt, ohne es zu berühren. Sie müssen wirklich parallel zueinander und senkrecht zur Mittellinie sein, die man noch konstruieren muß, dem sogenannten Zentrier-Draht. Sind die Rahmen aufgestellt, werden die Stützen mit Fußblöcken verbunden, feste Verschwertungen zwischen ihnen und dem Fundament angebracht und die Rahmen schließlich geschmiegt und ausgestrakt, bevor die Beplankung aufgebracht wird.

Das Fundament

Wenn man sein Boot auf einem Sandfußboden bauen muß, hat man kaum eine andere Wahl, als ein separates Fundament zu bauen. Hat man aber einen hölzernen oder Betonfußboden, kann man natürlich auch ein Fundament bauen, muß es aber nur dann tun, wenn der Boden in einem schlechten Zustand ist. Eine Helling braucht man immer dann, wenn ein Betonfußboden so viele Sprünge aufweist und so verworfen ist, daß man keine Markierungen mehr anzeichnen kann, oder wenn ein hölzerner Boden von zweifelhafter Festigkeit ist. Sonst kann der Boden durchaus als Fundamentplatte dienen und alles, was man tun muß, ist, ihn zu fegen oder zu saugen.

Eine Helling sieht etwa wie eine Leiter aus, bei der die Rungen an jeder Spantposition befestigt sind. Alle Fundamente sehen ziemlich ähnlich aus, bis auf die Größe und den Abstand der Hölzer. Die Baupläne enthalten hierzu manchmal Angaben, aber man kann die Helling auch selbst entwerfen. Im folgenden geben wir generelle Hinweise für den Bau.

Zur Herstellung einer Helling benötigt man vier Kanthölzer gleicher Breite und Dicke. Zwei dieser Stücke – die Längsträger – sollten etwas länger sein als die Gesamtlänge des Bootes, und die beiden anderen – die Querträger – sollten etwa $^2/_3$ der Bootsbreite haben. Hölzer von etwa 50 x 150 mm sind für die meisten Rümpfe ausreichend. Es ist ganz hilfreich, wenn alle vier Planken einigermaßen gerade sind. Die Querhölzer sollen dabei besonders steif sein, da sie den Zentrierdraht halten müssen, auf den immerhin wenigstens 200 kg Zug aufgebracht werden muß. Außerdem braucht man Querhölzer von etwa 50 x 100 mm für die Querstreben an jedem Spant.

Zunächst wird ein rechtwinkliger Kasten gebaut, und zwar genau auf Kante. Baut man das Boot auf einem Beton-oder Holzfußboden, sollten Holz-Sechskantschrauben durch die Querriegel in die Längsträger geschraubt werden. Baut man dagegen auf einem Sandfußboden, braucht man Pflöcke, um die Seitenteile zu halten. Folglich benötigt man keine zusätzlichen Schrauben. Die 50 x 100 mm messenden Querträger werden erst später eingebaut.

Dieser Rahmen wird nun auf den Fußboden gesetzt, wobei die Unterkanten so unterstützt werden, daß sie nicht mehr wackeln, verrutschen oder sich setzen können, wenn später das Gewicht der Rahmen hinzukommt. Dann wird das Ganze ausgerichtet. Obwohl man auch später noch Korrekturen vornehmen kann, wenn die Verstrebungen aufgesetzt werden, spart man doch Zeit, wenn man bereits jetzt die Kanten ausrichtet, so daß sie waagerecht und in einer Ebene liegen. Man muß nun den Fußboden auf Unregelmäßigkeiten hin prüfen und eventuell an einigen Stellen kleine Klötzchen anbringen, damit die ganze Länge des Fundaments trägt. Auf einem Sandboden sollten alle hohen Stellen entfernt werden, bis die Träger fest aufliegen. Dann werden Kanthölzer von 50 x 50 mm, die etwas über einen Meter lang sein sollten, in den Boden getrieben, und zwar neben den Enden eines

jeden Längsträgers. Diese Pflöcke werden mit den Trägern vernagelt, um sie in ihrer Position zu halten.

Abb. 1 zeigt Helling und Mallspanten eines kleinen Kanus. Man sieht, daß es möglich ist, den gesamten Rahmen, wenn er nicht zu groß ist, vom Boden abzuheben, um eine bessere Arbeitshöhe zu erreichen.

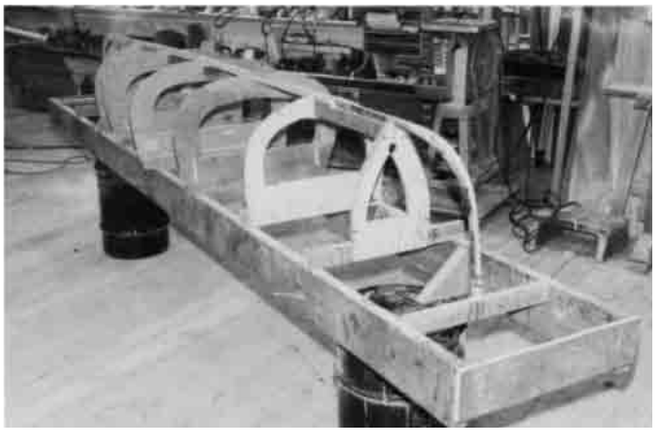


Bild 15.1 – Fundament mit Mallen für ein Kanu.

Der Zentrierdraht

Bevor man die Rahmen und Verschwertungen aufsetzt, muß mittschiffs über die gesamte Bootslänge ein Draht angebracht werden, der die Mittellinie darstellt. Dies ist die Bezugslinie, um die Rahmen auszurichten und die Position der Spanten festzulegen. Wenn man eine größere Yacht baut, sollte man versuchen, ein Nivelliergerät zu leihen, um diesen Draht exakt zu spannen.

Eine Schnur ist als Mittellinie zwar auch zu vertreten, aber wir benutzen vorzugsweise 1,5 bis 2 mm starken Stahldraht, der etwa 200 kg Zug aushält. Dieser Draht bleibt straff und bricht nicht, auch wenn man unabsichtlich darauf tritt. Wenn der Fußboden die Basis des Bootsbaus ist, wird dieser Draht etwa 20 mm oder weniger darüber entlanggespannt. Benutzt man ein Fundament, verläuft der Draht oberhalb der beiden Querriegel an den Enden. Die Mitte wird in Führungen gebettet, und zwar außerhalb von Steven und Heck des Bootes. Bei sehr langen Rümpfen kann man noch geschlitzte Zwischenblöcke einpassen. Sowohl die Führungen wie die Blöcke sollten so fest sein, daß

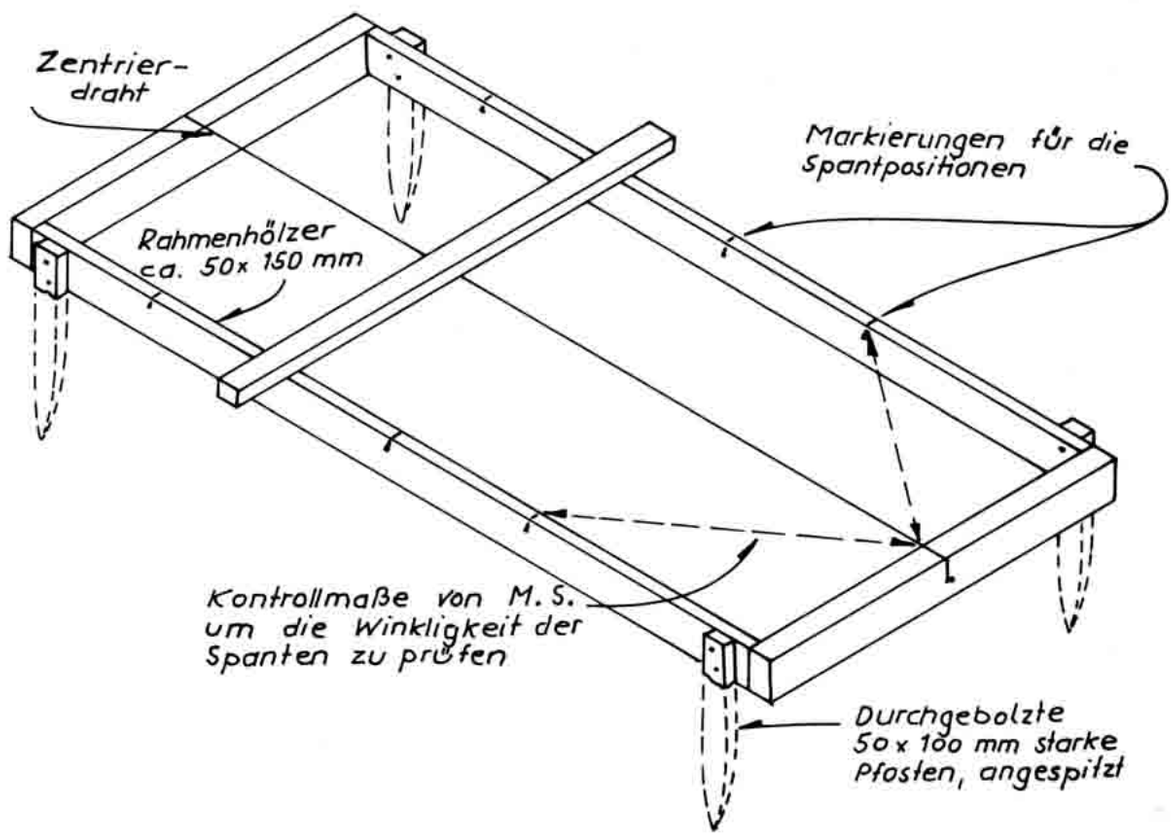


Bild 15.2 – Fundament-Rahmen für einen Sandboden.

sie nicht verletzt oder zerstört werden. Sie müssen so stabil sein, daß selbst der größte Fuß ihnen nichts anhaben kann.

Die Mittellinie muß absolut waagerecht sein, um die Rahmen im rechten Winkel dazu aufzusetzen. Mit einer Schlauchwaage wird noch einmal kontrolliert, daß sie auch wirklich waagerecht liegt, bevor sie endgültig befestigt wird.

Ist dieser Zentrierdraht nun ausgerichtet, werden die Markierungen angebracht, auf die die Rahmen gesetzt werden. Mallspanten werden meistens direkt auf die Spantpositionen gesetzt, im selben Abstand wie auf dem Schnürboden. Setzt man noch zusätzliche feste Bauteile, wie z.B. Schotte, dazwischen, muß auch ihre Lage angezeichnet werden.

Die Abstände der Rahmen müssen genau denen auf dem Schnürboden entsprechen. Man kann das große Dreieck, das man für die Schnürbodenarbeit hergestellt hat, verwenden, um die Markierungen wirklich senkrecht zur Mittellinie anzuzeichnen. Das Dreieck wird an den Zentrierdraht bei jedem Spant angelegt und die Längshölzer dann angezeichnet. Baut man ohne Fundament, müssen die Linien direkt auf den Boden übertragen werden. Diese Markierungen liegen vielleicht nicht unbedingt im rechten Winkel zu den Hölzern, falls diese Längsträger sich verworfen haben oder nicht wirklich parallel sind. Die Markierungen müssen aber parallel zueinander angebracht werden, in dem sich aus dem Schnürboden ergebenden Abstand, und sie müssen winklig zur Mittellinie liegen.

Die Fußblöcke

Sind nun die Markierungen aufgebracht und noch einmal geprüft, werden Fußblöcke hergestellt und eingebaut. Meistens reichen Holzabschnitte von 50 x 100 mm, obwohl große Yachten auch entsprechend größere Blöcke erfordern. Bei Verwendung einer Helling werden diese Querhölzer mit der breiten Seite nach unten bei jeder Spantposition so angebracht, daß sie bis über den Bereich der Stützen der Rahmen hinausreichen. Baut man direkt auf dem Boden, werden die Blöcke unmittel-

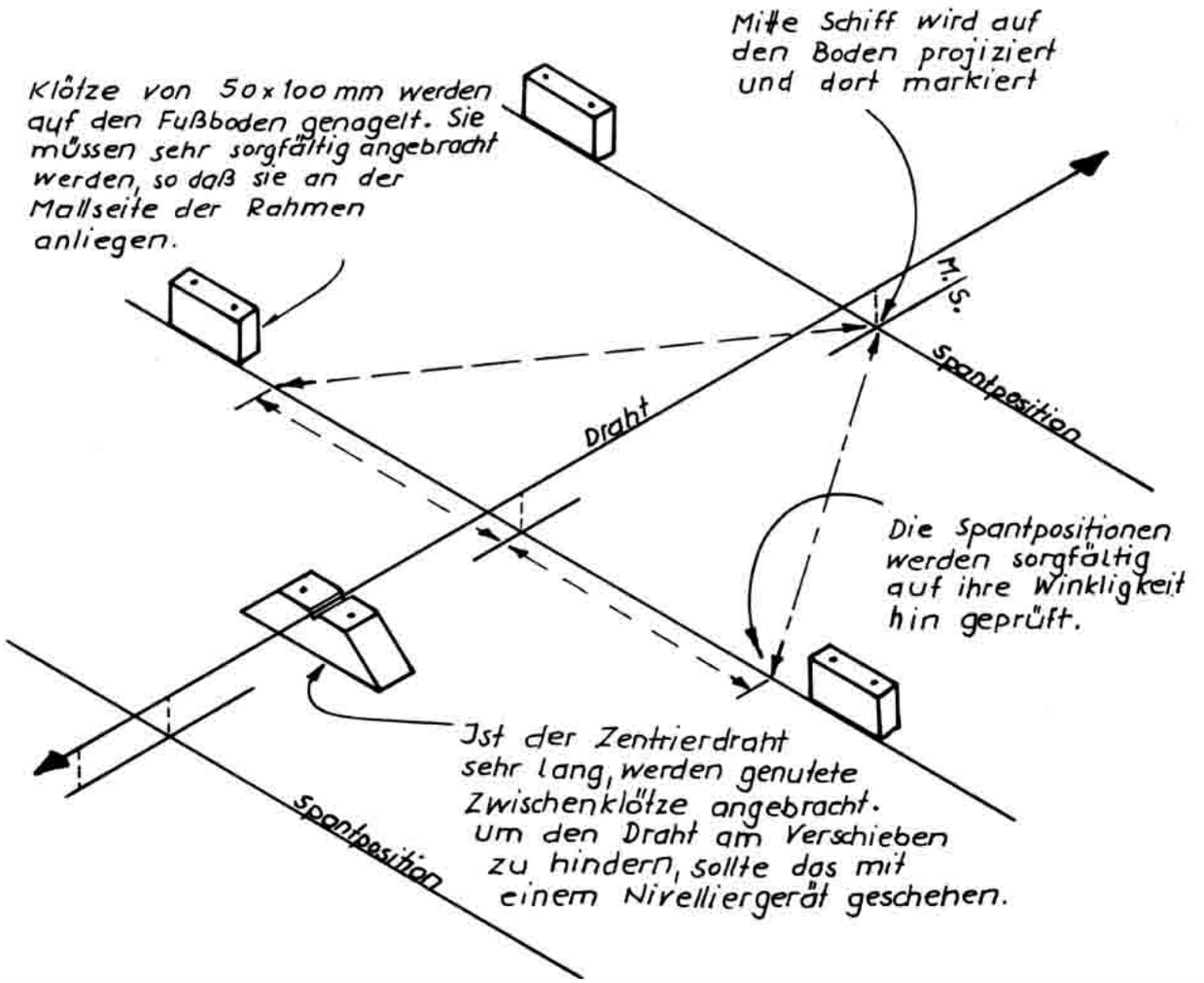

Mitte Schiff wird auf den Boden projiziert und dort markiert
Klötze von 50 x 100 mm werden auf den Fußboden genagelt. Sie müssen sehr sorgfältig angebracht werden, so daß sie an der Mallseite der Rahmen anliegen.
M.S.
Spantposition
Draht
Die Spantpositionen werden sorgfältig auf ihre Winkligkeit hin geprüft.
Ist der Zentrierdraht sehr lang, werden genutete Zwischenklötze angebracht. Um den Draht am Verschieben zu hindern, sollte das mit einem Nivelliergerät geschehen.
Spantposition

Bild 15.3 – Zentrierdraht und Fußblöcke.

bar auf ihm befestigt. Man muß nicht unbedingt die genannten Maße verwenden – man kann auch bei jedem Spant zwei kurze Stücke benutzen, und zwar genau dort, wo die Stützen auftreffen. Besser ist es aber, diese Hölzer etwas länger zu lassen, so daß man kleine Meßungenauigkeiten ausgleichen kann. Gleichgültig, welcher Art das Fundament ist, die Anschlagklötze müssen genau auf der Linie liegen, die man an dem entsprechenden Spant markiert hat. Werden nun die Stützen aufgesetzt, stoßen sie direkt an diese Seite der Blöcke.

Die Fußblöcke müssen immer auf der Seite liegen, die zum jeweiligen Bootsende zeigt, wobei der Spantwechsel an der breitesten Stelle des Bootes liegen sollte. Im vorderen Teil des Bootes fallen diese Blöcke also nach vorne, im hinteren Teil nach achtern. Im Mittschiffsbereich kann die Richtung frei gewählt werden. Benutzt man zwei Blöcke, müssen diese unbedingt auf derselben Seite der Linie liegen.

Auf dem Fundament werden diese Fußblöcke mit Nägeln und Epoxidharz befestigt. Dann werden alle Kanten mit einer Mischung aus Epoxid und hochdichtem Füller mit Kehlen verspachtelt. Wenigstens zwei oder drei Seiten sollten mit diesen Spachtelkehlen gefüllt sein, nur die Anschlagseite für die spätere Abstützung nicht. Da der größte Teil der Belastung durch die Stützen senkrecht nach unten geht, wird nur sehr wenig seitliche Belastung auf diese Blöcke ausgeübt, während man das Boot baut. Arbeitet man direkt auf dem Fußboden, brauchen die Klötze nur an den Kanten mit Spachtel versehen zu werden, ohne eine weitere Befestigung. Der Vorteil der Spachtelkehlen besteht darin, daß man sie später mit einer Gasflamme erwärmen und dann leicht wieder abnehmen kann.

Das Aufstellen – Allgemeine Hinweise

Beim Aufstellen der Rahmen oder Mallspanten muß man vier Aufgaben erfüllen:

– Die Mallkanten der Rahmen müssen genau auf den entsprechenden Markierungen auf dem Fundament oder Fußboden liegen,
– die Mittellinien der Rahmen müssen wirklich senkrecht sein und zwar sowohl in Längs- wie Querschiffsrichtung,
– die Mittellinien auf den Rahmen müssen senkrecht über dem Zentrierdraht liegen,
– die Wasserlinien auf den Mallspanten müssen sich in exakt gleichen Höhe befinden.

Um die Rahmen aufzusetzen, braucht man entweder zwei Wasserwaagen oder eine Wasserwaage und ein Lot. Die Methode mit Lot und Wasserwaage ist genauer und sollte immer dann benutzt werden, wenn ein Boot so groß ist, daß es eine Einrichtung aufweist. Bei kleinen Booten reichen auch zwei Wasserwaagen.

Wasserwaagen von etwa 1 m Länge sind groß genug, aber sie müssen auf ihre Anzeige hin geprüft und eventuell justiert werden. Um zu testen, ob eine Wasserwaage wirklich eine horizontale Linie zeigt, wird sie gegen eine Wand gehalten und ein Strich gezogen, wobei natürlich die Luftblase in der Libelle gen au zwischen den Eichstrichen liegen muß. Dann wird das Instrument umgedreht und wieder an die gleiche Stelle gelegt. Die Luftblase wird wieder justiert, und wenn dann die Kante der Wasserwaage genau auf der alten Linie liegt, zeigt sie auch genau an. Falls nicht, wird die Wasserwaage solange geneigt, bis die Blase wieder zwischen den Eichstrichen steht, und man zieht eine zweite Linie. Das ergibt einen Schnittpunkt beider Linien, und der Fehler ist also gen au die halbe Entfernung zwischen diesen beiden Strichen. Mit anderen Worten: Wenn die Linien an einem Ende 6 mm voneinander entfernt sind, bei einer Länge von 1 m, liegt der Fehler bei 3 mm auf dieselbe Länge. Muß man eine solche Wasserwaage benutzen, schreibt man den Fehler und die Richtung auf das Instrument. Die zweite Libelle für die Vertikalanzeige wird in gleicher Art geprüft, aber die Wasserwaage wird dazu nicht um 1800 gedreht, sondern nur auf die andere Seite gelegt. Falls die Wasserwaage mehrere Libellen besitzt, müssen alle geprüft werden. Ist die Anzeige auf der einen Seite korrekt, kann man die zweite Libelle einfach überkleben.

Einige Wasserwaagen haben auch justierbare Libellen. Um sie zu prüfen, werden wieder die zwei Linien gezogen, wie oben beschrieben, und dann wird die Libelle solange gedreht, bis die Anzeigen übereinanderliegen.

Um die Höhen der Mallspanten während des Aufstellens zu messen, benutzen wir ein Richtscheit. Das kann ein recht leichtes Holz sein, muß aber doch so steif sein, daß es sich nicht leicht durchbiegt. 40 x 12 mm ist üblicherweise ausreichend. Das Richtscheit muß so lang sein, daß es vom höchsten Punkt des Rahmens bis zum Zentrierdraht reicht. Ein kleiner Überstand ist wünschenswert, aber mehr als 6 mm – abhängig davon, wie hoch der Zentrierdraht über dem Fußboden oder Fundament liegt – können schon bei der Arbeit hindern. Um die Höhen auf den Mallspanten abzusetzen, brauchen wir die Wasserlinien auf diesen Rahmen und den Zentrierdraht auf dem Fundament als Bezugspunkte. Alle diese Maße

werden vom Schnürboden abgenommen. Falls die Lage des Drahtes noch nicht im Schnürbodenplan eingezeichnet ist, muß das jetzt geschehen. Dann wird das Richtscheit entlang der Mittellinie des Spantenrisses aufgelegt und sowohl die Drahtposition wie auch die der Wasserlinien werden angezeichnet. Da nicht alle Mallspanten die gleiche Höhe und die gleichen Wasserlinien als Bezugsebenen haben werden, müssen auf dem Richtscheit alle Wasserlinien angezeichnet werden, die in Frage kommen.

Soll nun der erste Rahmen aufgesetzt werden, wird das Richtscheit etwa 3 mm neben der Mittellinie, aber parallel zu ihr, auf dem Mallspant befestigt. Dann wird das Richtscheit nach oben und unten solange justiert, bis die Wasserlinienmarkierungen mit den Wasserlinien des Rahmens übereinstimmen.

Federzwingen sind für diese, ja nur provisorische Befestigung, recht brauchbar. Diese Federklemmen werden in Nähe des Kiels und am Querriegel angebracht. Legt man das Richtscheit auf der Mallseite des Spants an, muß man ein Zwischenstück einfügen, das die gleiche Dicke hat wie das Material, aus dem die Mallen gefertigt wurden, um eine wirklich ebene Fläche zu erzeugen. Liegt das Richtscheit aber auf der anderen Seite an, braucht man das Zwischenstück im Kielbereich des Spants, damit das Richtscheit nun wieder parallel zur Mallseite verläuft.

In Kapitel 14 haben wir vorgeschlagen, die Querriegel so anzuordnen, daß sie bereits eine Bezugswasserlinie bilden. Hat man das getan, muß zu diesem Zeitpunkt noch einmal ihre Geradheit geprüft werden. Eine Alternative hierzu besteht darin, über die Wasserlinienmarkierung eine Schnur zu spannen, die auch wieder von Federzwingen gehalten wird und das Richtscheit nun mit der Schnur in Übereinstimmung zu bringen.

Das Aufstellen der Rahmen

Beim Bau der Rahmen haben wir bereits die Stützen auf eine gleichmäßige Höhe abgeschnitten oder wenigstens diesen Abstand markiert. Werden nun die Rahmen aufgesetzt, befinden sich der Zentrierdraht und seine entsprechende Markierung auf dem Richtscheit etwa in der gleichen Höhe, sobald der Mallspant in seine vorläufige Lage gebracht ist. Der Rahmen wird so justiert, daß das Richtscheit direkt neben dem Zentrierdraht liegt, es aber nicht berührt. Die Stützen werden nun mit Schraubzwingen an die Fußblöcke gezogen, so daß sie nicht mehr umfallen können. C-Zwingen sind für diesen

Bild 15.4 – Aufstellen des ersten Rahmens. Man erkennt die Fußblöcke auf dem Boden.

Zweck besser geeignet als die normalen Schraubzwingen, da sie nicht abfallen, wenn man Verschiebungen vornimmt. Als nächstes folgt eine zeitweilig angebrachte diagonale Verschwertung, ebenfalls mit Schraubzwingen, um den Rahmen in Längsschiffsrichtung mit der Wasserwaage zu justieren. Man muß dazu die Zwingen an den Fußblöcken etwas lösen, damit die Stützen sich leicht bewegen können, während diese Feineinstellung vorgenommen wird.

Um die Rahmen gen au auszurichten, kann man entweder mit dem Lot oder mit den zwei Wasserwaagen arbeiten. Wie bereits erwähnt, ist ein Lot das gen aue re Werkzeug. Es wird am Scheitelpunkt (also im Kielbereich) des Rahmens wieder mit einer Federzwinge befestigt, wobei die Schnur so weit nachgelassen wird, daß das Lot direkt über dem Zentrierdraht liegt. Man sollte das Lot auf der Seite anlegen, die nicht das Richtscheit trägt, damit sich diese beiden nicht gegenseitig behindern.

Die Rahmen werden nun solange justiert, bis folgende Bedingungen erreicht sind:
(1) das Lot genau auf der Mittellinie des Rahmens aufliegt und direkt auf den Zentrierdraht zeigt,
(2) der Rahmen in Längsschiffsrichtung genau senkrecht steht und sich nicht verwindet, d.h. daß der Rahmen wirklich senkrecht zur Mittellinie steht,
(3) die Markierung des Zentrierdrahtes auf dem Richtscheit in gleicher Höhe liegt wie der Draht selbst.

Um eine Verwindung festzustellen, wird die Wasserwaage senkrecht an verschiedenen Stellen der Spantfläche angelegt. Liegen die Stützen wirklich parallel zur Mittellinie, können diese als willkürliche Position benutzt werden, um ein Lot zu fällen. Um eine Verdrehung zu vermeiden, müssen die Diagonalstützen justiert oder zusätzliche eingezogen werden.

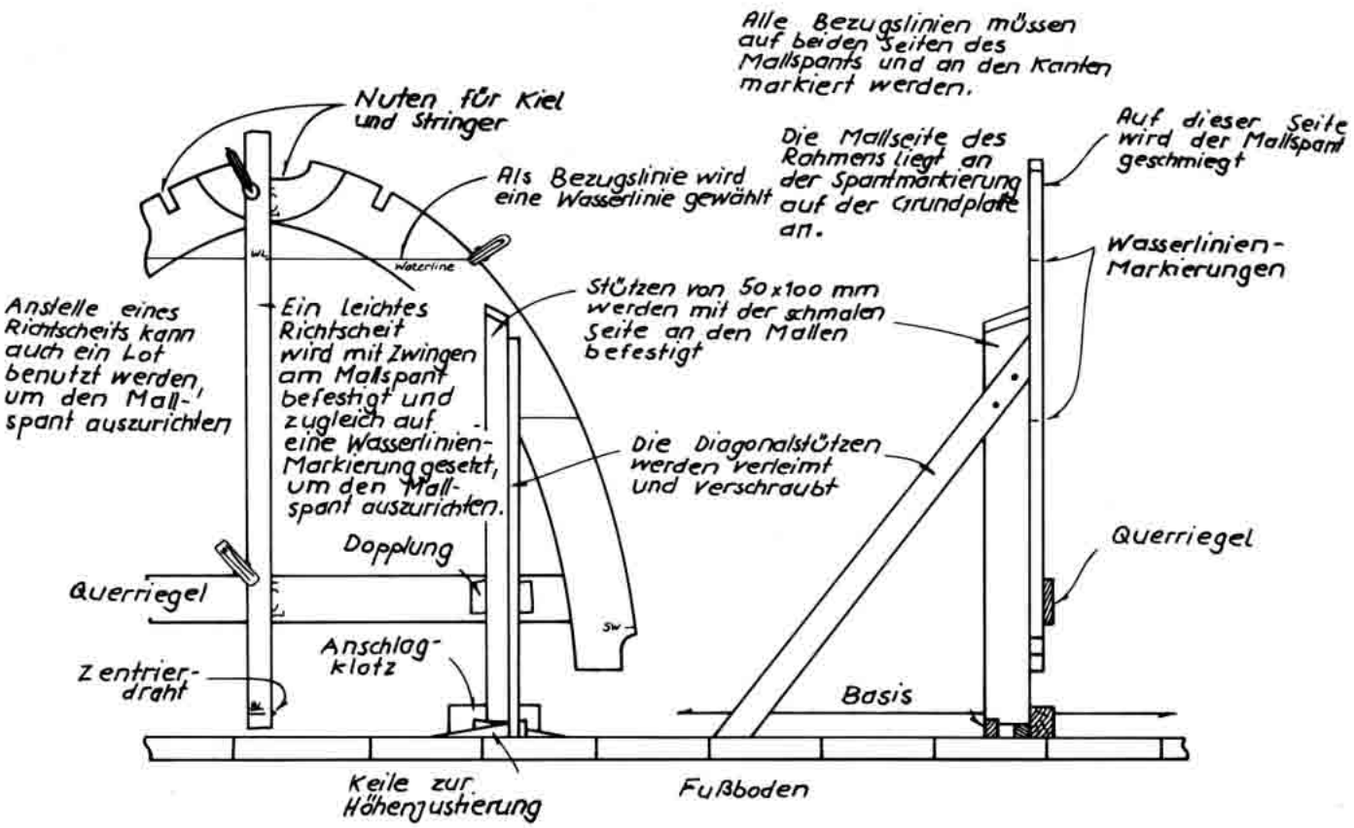

Alle Bezugslinien müssen auf beiden Seiten des Mallspants und an den Kanten markiert werden.
Nuten für Kiel und Stringer
Als Bezugslinie wird eine Wasserlinie gewählt
Die Mallseite des Rahmens liegt an der Spantmarkierung auf der Grundplatte an.
Auf dieser Seite wird der Mallspant geschmiegt
Wasserlinien-Markierungen
Waterline
Anstelle eines Richtscheits kann auch ein Lot benutzt werden, um den Mall-spant auszurichten
Ein leichtes Richtscheit wird mit Zwingen am Mallspant befestigt und zugleich auf eine Wasserlinien-Markierung gesetzt, um den Mall-spant auszurichten.
Stützen von 50x100 mm werden mit der schmalen Seite an den Mallen befestigt
Die Diagonalstützen werden verleimt und verschraubt
Querriegel
Dopplung
Querriegel
Anschlag-klotz
Zentrier-draht
Basis
Keile zur Höhenjustierung
Fußboden

Bild 15.5 – Zwei Ansichten eines aufgestellten Rahmens.

Baut man auf dem Fußboden, kann man Holzkeile unter die Stützen treiben, um kleine Justierungen vorzunehmen. Baut man auf einem separaten Fundament, nimmt man die Korrekturen durch Lösen und Neuansetzen der Schraubzwingen an den Fußblöcken vor. Eine vertikale Justierung erfordert meistens auch ein Lösen der Diagonalstreben, um den Rahmen wieder senkrecht auszurichten. Auch die Leine des Lotes muß eventuell nachgesetzt werden. Man muß diese Arbeiten so lange fortsetzen, bis der Rahmen wirklich ausgefluchtet ist. Eine Korrektur kann mitunter weitere zur Folge haben.

Benutzt man zwei Wasserwaagen zum Ausrichten, braucht man anstelle des Lotes also eine zweite Wasserwaage. Die eine wird parallel an den Querriegel geklemmt. Die gerade Kante des Holzes ist also sehr wichtig. Das Ausrichten der Luftblase in der Libelle entspricht bei dieser Methode dem Fällen des Lotes. Das Ausrichten des Richtscheits zum Kabel hat dann die Funktion, die vorher die Leine des Lotes hatte. Die andere Wasserwaage wird in gleicher Weise wie früher benutzt.

Die am Querriegel befestigte Wasserwaage muß bei allen Spanten in der gleichen Richtung benutzt werden. Mit anderen Worten: Werden die Rahmen z.B. in Nord-Süd-Richtung ausgerichtet, wird ein Ende der Wasserwaage mit N oder S bezeichnet, um Verwechslungen zu vermeiden. Man erreicht damit folgendes: Es kann zwar sein, daß die Mittellinien nicht alle senkrecht verlaufen, aber wenigstens liegen sie alle in einer Ebene, und darauf kommt es an.

Bevor nun Spachtelkehlen angesetzt werden, ist es eine gute Idee, auf den Schnürboden zurückzugehen und die Abstände zwischen Zentrierdraht und Seite Deck sowie zwischen Zentrierdraht und Oberkante Rahmen zu prüfen. Wenn der Rahmen aufgestellt ist, müssen diese Maße geprüft werden, bevor man mit dem Spachteln beginnt. Alle groben Unstimmigkeiten beim Herstellen der Rahmen oder bei ihrem Aufstellen, werden so sichtbar. Diese Fehler würden nach kurzer Zeit ohnehin deutlich werden; es ist also besser, sie jetzt aufzudecken und nicht zu warten, bis man die Spachtelmasse wieder wegstemmen muß, um sie zu korrigieren.

Wenn man nun sicher sein kann, daß der Rahmen perfekt ausgerichtet ist, können die Stützen an den Fußblöcken mit Spachtelmasse befestigt werden. Wir benutzen dazu wieder die hochdichte Mischung, etwa in der Konsistenz von Erdnußbut-

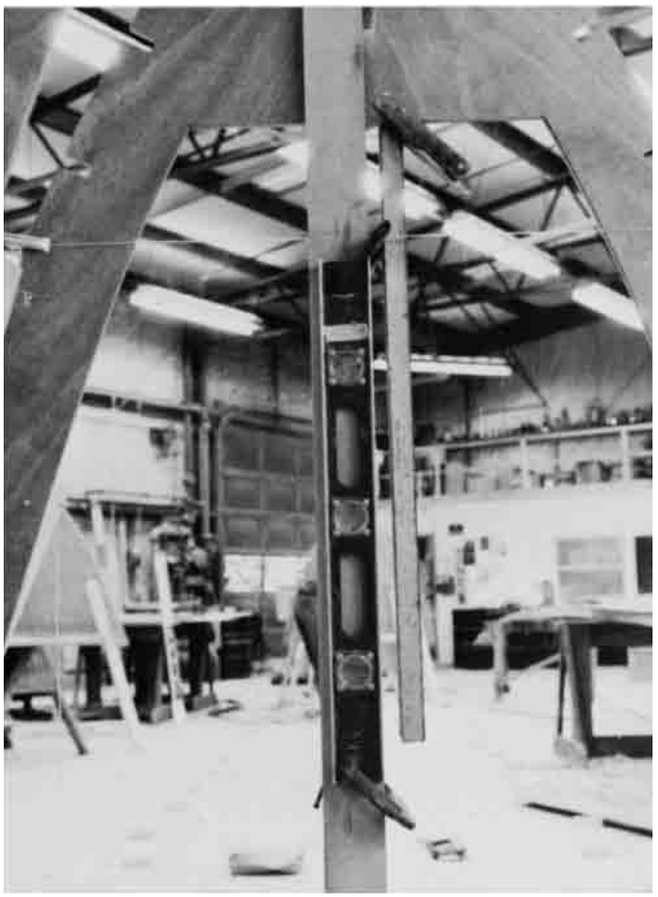


Bild 15.6 – Rahmen mit Richtscheit, Schnur und Bezugs-Wasserlinie.

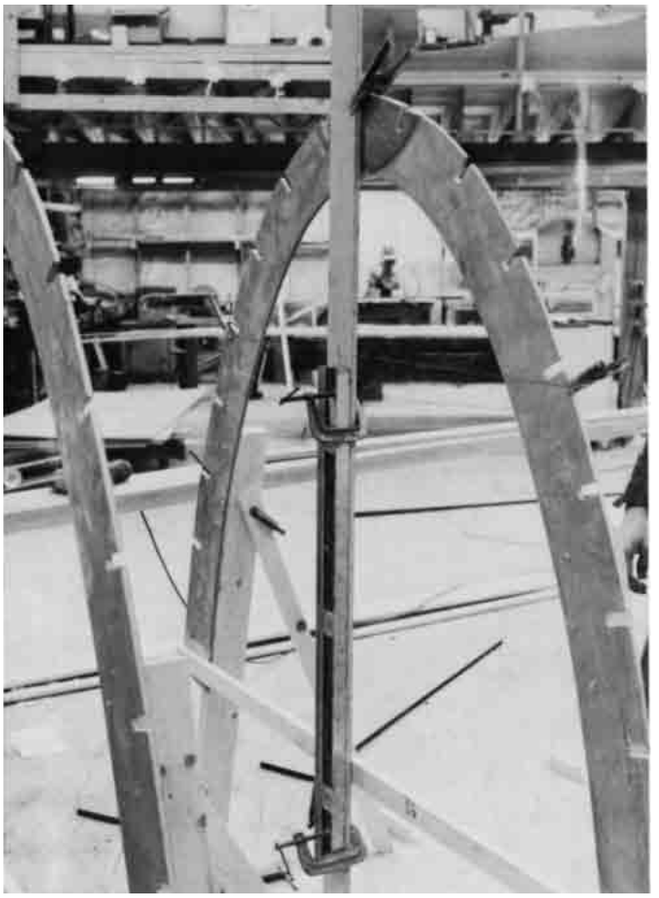


Bild 15.7 – Das Richtscheit ist an der Mittellinie angezwingt.

ter. Die Festigkeit und Haltekraft dieser Mischung reicht völlig aus, um die Stützen während des gesamten Bootsbaus in ihrer Position zu halten, wenn man die Kehlen groß genug macht und alle Kanten ausfüllt, wo die Stütze am Fußblock anliegt. Man braucht zwischen die Flächen keinen Kleber aufzutragen oder die Stützen noch anderweitig abzufangen, wenn die Spachtelkehlen auf einer sauberen, fettfreien Oberfläche aufgebracht wurden.

Das Vernageln und Verschrauben der Stützen

Wenn man genug Schraubzwingen besitzt, kann man die Spachtelkehlen aufbauen und die Zwingen einfach am Werkstück lassen, bis das Harz ausgehärtet ist. Man kann sich also sofort mit dem nächsten Rahmen beschäftigen. Nach dem Abnehmen der Zwingen können die Spachtelkehlen noch einmal zusätzlich aufgefüllt werden. Besitzt man aber nicht genug Schraubzwingen, um gleich mit der nächsten Stütze weiterzumachen, werden die Fußblöcke und Stützen miteinander durch Nägel oder Schrauben verbunden. Dies Befestigen muß natürlich vorgenommen werden, solange die Schraubzwingen noch angebracht sind. Werden sie dann entfernt, sollte man die Lage des Rahmens noch einmal prüfen, denn Nägel und Schrauben können zu kleinen Verschiebungen geführt haben.

Auch wenn man diese Art der Befestigung plant, sollte man trotzdem Spachtelkehlen ansetzen und sei es nur, um ein sichtbares Zeichen zu haben, wenn sich ein Rahmen aus seiner Lage etwas bewegt hat, was sonst nicht festzustellen wäre.

Die Verschwertung

Die nur vorläufigen Diagonalstreben, die nur mit Zwingen befestigt wurden, bis die Spachtelkehlen ausgehärtet sind, müssen nun durch feste Verschwertungen ersetzt werden. Man muß sich schon genau überlegen, an welchen Stellen man diese Streben anbringt, besonders dann, wenn man z.B. noch Schotte einfügen möchte. Die Stützen müssen diesen Raum freihalten.

Ist es notwendig, die vorläufigen Stützen zu entfernen, bevor die festen angebracht werden können, muß man die Rahmen in Längsrichtung wieder

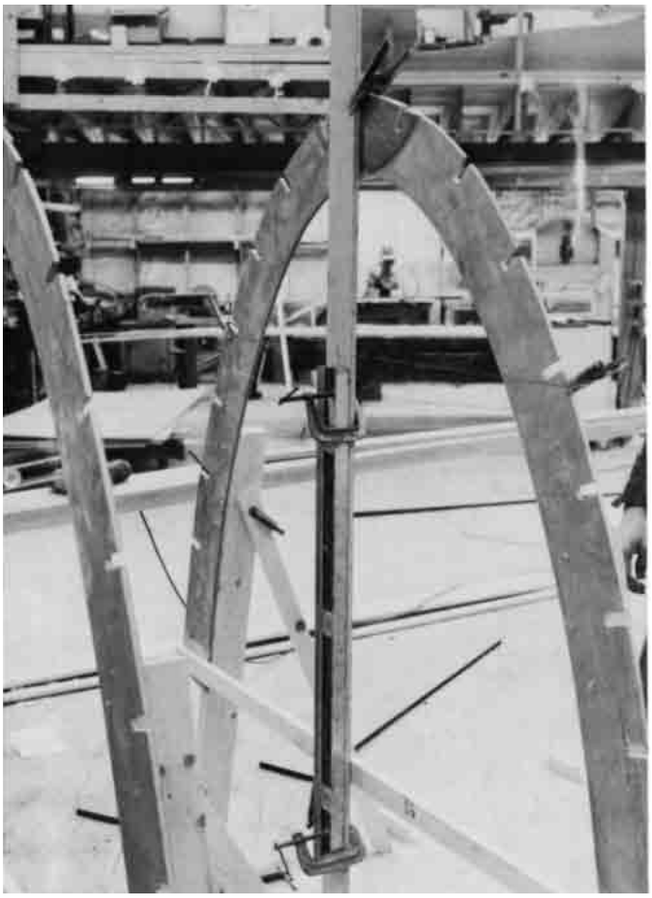


Bild 15.8 – Aufstellen der Rahmen. Unter den Stüzen am Fußboden erkennt man Keile. Der Rahmen im Vordergrund ist mit Zwingen an den Fußblöcken befestigt und diagonal verschwertet. Das ebenfalls von Zwingen gehaltene Richtscheit liegt direkt neben der Mittellinie des Rahmens und berührt gerade den Zentrierdraht über dem Boden.

neu ausrichten und eventuelle Verdrehungen korrigieren. Man macht das, wie bereits beschrieben, mit Hilfe einer Wasserwaage. Da zu diesem Zeitpunkt die Stützen bereits dauerhaft befestigt sind, braucht man sich sonst weiter keine Sorgen zu machen. Wenn nun alles ausgerichtet ist, werden die festen Stützen auf dem Untergrund oder Fundament mit Spachtelmasse verklebt.

Die Rahmen stehen nun alle, und wir nehmen uns ein kurzes Stück Straklatte und prüfen an verschiedenen Stellen, wie sie untereinander passen. Da die Mallspanten zu diesem Zeitpunkt noch nicht geschmiegt sind, ist das nur eine sehr vorläufige Prüfung. Trotzdem kann man schon erkennen, ob irgendwo Unstimmigkeiten auftreten. Sollte ein Spant den Anschein erwecken, daß er nicht in seiner exakten Position steht, müssen die Maße vom Schnürboden noch einmal geprüft werden. Bevor man nicht genau weiß, wo der Fehler liegt, sollte man nichts ändern.

Es ist unvermeidlich, daß sich die Mallspanten etwas verformen und verdrehen und dadurch den Eindruck hervorrufen, daß sie nicht straken, besonders zu den Enden hin. Wenn eine lange Straklatte eine Unstimmigkeit zeigt, muß zunächst einmal geprüft werden, ob der Spant in sich gerade ist, und dann erst die Lage innerhalb des Verbandes.

Das Schmiegen

Spanten und Rahmen werden geschmiegt, damit die Planken gut und sauber anliegen. Zunächst markieren wir die Schnittkanten der Rahmen mit einfacher schwarzer Farbe. Diese wird zum großen Teil später wieder weggehobelt, aber an der Mallkante bleibt eine kleine schwarze Spur als Kontrollkante übrig, die beim Schmiegen nicht abgearbeitet werden darf.

Wir benutzen nun eine Straklatte, die wenigstens drei Spanten überdeckt, als Führung für das Schmiegen. Sind die Rahmen nur 6 mm dick, kann man das überschüssige Holz mit dem Stecheisen entfernen. Sind sie dicker, nimmt man besser einen Fuchsschwanz und sägt Markierungen in die Kante des mittleren Rahmens von den dreien, die man mit der Latte überdeckt hat, und zwar auf beiden Seiten der Latte, parallel zu ihr. Man darf dabei nicht tiefer sägen als bis zur schwarzen Mallkante. Die Straklatte wird nun auf dem Rahmen auf und ab bewegt, so daß man etwa alle 30 cm eine solche Markierung einsägen kann. Dann wird noch einmal der Strak selbst geprüft. Ist ein Spant fertig, können wir zum nächsten übergehen.

Wenn alle größeren Rahmen auf diese Weise markiert sind, wird das Holz zwischen den Kerben

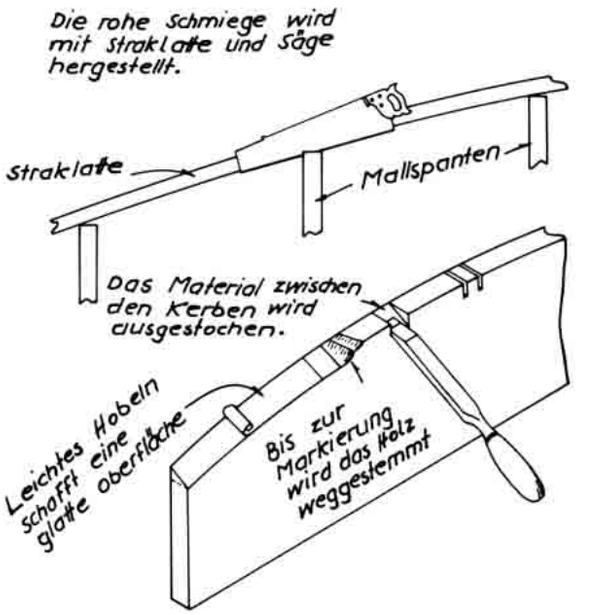

Die rohe Schmiege wird mit Straklatte und Säge hergestellt.
Straklatte
Mallspanten
Das Material zwischen den Kerben wird ausgestochen.
Leichtes Hobeln schafft eine glatte Oberfläche
Bis zur Markierung wird das Holz weggestemmt

Bild 15.9 – Das Schmiegen der Mallspanten.

mit dem Stecheisen entfernt, so daß wir eine größere Anzahl Nuten haben. Noch einmal wird der Strak insgesamt geprüft, dann wird der Boden dieser Nuten mit dem Bleistift aus gekreuzt. Das sind nun unsere Richtmaße, wenn wir den Spant insgesamt abhobeln. Wir benutzen für diese erste grobe Arbeit eine Hobelmaschine, aber wir raten das nur dann zu tun, wenn man genügend Erfahrung damit hat. Handhobel tun denselben Dienst, nur etwas langsamer.

Das Ausstraken

Sind nun die Schmiegen roh ausgestrakt, so daß an der Mallkante nur eine schmale, schwarze Markierung übrigbleibt, kann man mit dem endgültigen Abstraken beginnen. Wie beim Aufschnüren selbst sind das Auge und ein gewisses künstlerisches Gefühl die wesentlichen Werkzeuge. Das Ziel ist es, daß die Straklatte alle Mallkanten gerade berührt und dabei eine Kurve bildet, die frei von Beulen und flachen Stellen ist und zwar über die gesamte Länge unseres Mallspantensystems.

Um dies zu erreichen, wird es mitunter nötig sein, etwas von der schwarzen Markierung an der Mallkante abzunehmen und an anderen Stellen wieder etwas aufzubauen, z.B. durch Holzunterfütterungen, oder indem man nicht die volle Tiefe des Sägeschnittes aussticht. Ein genaues Arbeiten beim Aufschnüren, beim Abnehmen der Konturen, beim Schneiden, beim Sägen der Rahmen, bei ihrem Zusammenbau und ihrem Aufstellen werden die Fehler in engen Grenzen halten. Kleinere Unstimmigkeiten bei jedem dieser Arbeitsschritte sind praktisch nicht zu vermeiden. Aber in den meisten Fällen heben sie sich wieder auf. In einigen Bereichen können sich diese Fehler aber auch einmal addieren, und das muß dann zum Schluß korrigiert werden.

Beim letzten Abstraken sieht die Straklatte, die man über die ganze Bootslänge befestigt hat, manchmal etwas seltsam oder unregelmäßig aus, ganz einfach wegen der Lage, in der sie angebracht wurde. Korrekturen sollte man aber nicht aufgrund eines einzelnen Straks unternehmen. Die Latte muß in verschiedenen Positionen angebracht werden, und überall muß man prüfen, wie das Ergebnis ist. Dabei werden offensichtliche Fehler auf den Rahmen genau markiert und entsprechende Hinweise angebracht. Wenn man die Latte nun in verschiedenen Richtungen über die Mallen legt (das ist besonders dann ein Problem, wenn sich der Rumpf an einigen Stellen stark verformt), kann ein offensichtlicher Fehler, je nach Lage der Latte, ganz unterschiedlich beurteilt werden, und man muß nun eine Entscheidung zwischen sich widersprechenden Abmessungen treffen und bestimmen, wo man den Fehler annimmt. Manchmal ergibt ein Kompromiß zwischen den Meßwerten den besten Strak.

Sobald feststeht, welche Korrekturen vorgenommen werden müssen, wird die Mallkante an der entsprechenden Stelle entweder weiter heruntergearbeitet oder durch Paßstücke aufgebaut. Dieses Abgleichen wird fortgesetzt, bis der Strak offensichtlich nicht mehr zu verbessern ist, ohne jede Beule oder flache Stelle.

Kapitel 16

Kiel, Steven und Balkweger

Im traditionellen Bootsbau bildet der Kiel das Rückgrat oder das wesentliche, aussteifende Element eines Bootes. Er ist meistens groß und fest, und Bodenwrangen und Spanten werden mit ihm verbunden, um das Rahmenwerk zu bilden, über das dann die Beplankung gelegt wird.

Bei den Kompositbauweisen, die wir benutzen, hängt die Gesamtfestigkeit des Rumpfes in geringerem Maße vom Kiel ab. Die Belastungen werden auf das gesamte Boot so wirkungsvoll übertragen, daß Kiele manchmal fast überflüssig werden. Der Steven, das zweite kritische Bauelement in alten Konstruktionen, hat seine Bedeutung in geringerem Maße verloren. Ein starker Steven schützt den Rumpf gegen schwimmende Objekte. Wir benutzen ihn also weiterhin, um diese Art von Schaden zu verringern.

Zusätzlich zur Bauweise von Kiel und Steven befaßt sich dieses Kapitel mit Kielschweinen, Schwertern, Schwertkästen und Balkwegern. Diese Bauteile und einige weitere Komponenten des Ausbaus planen wir gleichzeitig, wenn wir uns für bestimmte Baumethoden entscheiden, die in späteren Kapiteln noch vorgestellt werden.

Das Bauteil Kiel/Steven

Der Kiel, an dem sich naturgemäß die Beplankung der beiden Seiten trifft, ist oftmals der Schlüssel für die praktische Anwendung moderner Bauverfahren. Ein Kiel trägt zur Gesamtfestigkeit des Rumpfes bei, indem große Punktlasten über einen großen Bereich der Außenhaut übertragen werden. Diese Aufgabe ist allerdings auf dem Trockenen wichtiger als im Wasser: Wenn ein Boot geslipt wird, hilft der Kiel, das Gesamtgewicht auf einen größeren Bereich zu übertragen.

Größe und Form sowohl des Kiels wie auch des Stevens unterscheiden sich weitgehend von Boot zu Boot, und hängen von den Festigkeitsforderungen und dem Bauverfahren ab. Wir fertigen üblicherweise diese beiden Bauteile jeweils für sich, verbinden sie dann mit einer Schäftung und haben so das Bauteil Kiel/Steven, das wir in das Boot einfügen. Ein Boot mit einer nur schwachen Krümmung im Steven könnte sowohl einen Kiel wie auch einen Steven haben, der nur aus einem Stück Massivholz besteht, aber wir haben noch keinen Fall gefunden, in dem das praktisch war. Wir bauen sie separat, weil der Kiel normalerweise nur sehr schwach gekrümmt ist und daher aus weniger Lagen Holz verleimt werden kann, der Steven aber wenigstens eine starke Krümmung aufweist, die wiederum eine größere Lagenzahl verlangt. Man könnte natürlich auch Kiel und Steven aus vielen Einzellagen zusammen lamellieren, um diese eine starke Stevenkrümmung zu beherrschen. Das würde aber Material- und Zeitverschwendung bedeuten. Die meisten Boote haben einen Spiegel, brauchen also nur einen Vorsteven. Spitzgatter oder Doppelender haben allerdings einen Vor-und einen Hintersteven, also wird man in diesen Fällen drei einzelne Teile herstellen müssen.

Wenn Kiel und Steven auch nur annähernd so fest sein sollen wie der Rumpf, muß man ihrer Bauweise ganz besondere Beachtung schenken. Die Einheit Kiel/Steven verbindet üblicherweise die beiden Rumpfhälften, und obwohl es unwahrscheinlich ist, daß diese Verbindung genauso fest sein wird wie der Rumpf selbst, braucht man doch eine hohe Faserfestigkeit, um ein Aufplatzen an der Kielnaht zu vermeiden. Ein Kiel, der dünner als 25 mm ist, kann aus einem Stück Massivholz gefertigt werden, aber wir ziehen es vor, sowohl Kiel wie auch Steven nach den in Kapitel 9 beschriebenen Verfahren zu lamellieren, da diese Bauweise Festigkeitsvorteile hat.

Es gibt verschiedene Methoden, wie man das Platzen oder Splittern des Kiels verhindern kann. Graphit oder Glasfasern können zwischen die Lagen der Beplankung an ihrer Nahtstelle gelegt werden. Wir verarbeiten zusätzlich bei unseren Kielen noch Sperrholzstreifen. Bei einem Kiel, der dünner als 25 mm ist, beginnen wir mit einem Massivholz und verleimen darauf eine Sperrholzschicht und zwar auf der Bootsinnenseite, wie in Abb.1, Schnitt B, gezeigt wird. In großen, dicken Kielen ist es ratsamer, dünne Lagen Sperrholz in die Kiellamellen einzufügen und sich nicht auf die Festigkeit eines starken Sperrholzstreifens zu verlassen. Bir-

kensperrholz ist für diese Anwendung besonders geeignet, da es eine hohe Zugfestigkeit hat und sich mit Epoxid gut verbindet. Dreischichtiges 6 mm starkes Sperrholz reicht in den meisten Fällen aus.

Im traditionellen Bootsbau werden Steven und Kiel immer mit einer Sponung versehen, d.h. sie werden ausgeklinkt, um die Beplankung einzuarbeiten, die dann mit der Außenseite des Kiels oder Stevens wieder glatt abschließt. Das Einarbeiten einer Sponung ist aber zeitraubend und es erfordert die entsprechende Fertigkeit und auch Geduld. Um die Klebefläche zu vergrößern, haben wir die Sponung ausgeschaltet. Anstelle dessen lamellieren wir Kiel und Steven und bearbeiten sie in der Oberfläche so, daß die Beplankung auf ihnen glatt aufliegt, d.h. üblicherweise auf der gesamten Kielfläche und dem größten Teil des Stevens. Die Beplankung wird zum Schluß mit Lamellen aus Hartholz abgedeckt, wie in Abb. 1 dargestellt. Diese Kappe wird damit zum Außenkiel, und insgesamt ist diese Konstruktion von ihrer Wirkungsweise her einem mit Sponung versehenen Kiel ebenbürtig. Unsere Technik ist schnell, prazlse und der Materialverlust ist geringer. Außerdem erzeugen wir so eine Verbindung, die einem Kiel mit Sponung überlegen ist.

Die Planung von Kiel und Steven

In den Komplex Kiel/Steven muß man vor der Arbeit eine Menge Gedanken stecken. Zunächst muß man sich über die Größe dieses Bauteils Klarheit verschaffen, so daß man im voraus genügend Material zusammenbauen kann, um einen Rohling zu haben, aus dem man später die endgültigen Stücke sägen kann. Ein lamellierter Kiel kann ein sehr komplexes Bauteil werden, da er auf seiner Länge unterschiedliche Breiten und Dicken haben wird, je nach Rumpfform und der Notwendigkeit, entsprechend große Klebeflächen zu liefern. Einige Kiele sind recht einfach, und man kann sie in ihrer gesamten Länge aus Material einer Abmessung herstellen. Andere Kiele werden in der Mitte sehr viel breiter sein als an den Enden, oder in bestimmten Bereichen sehr viel dicker sein als in anderen.

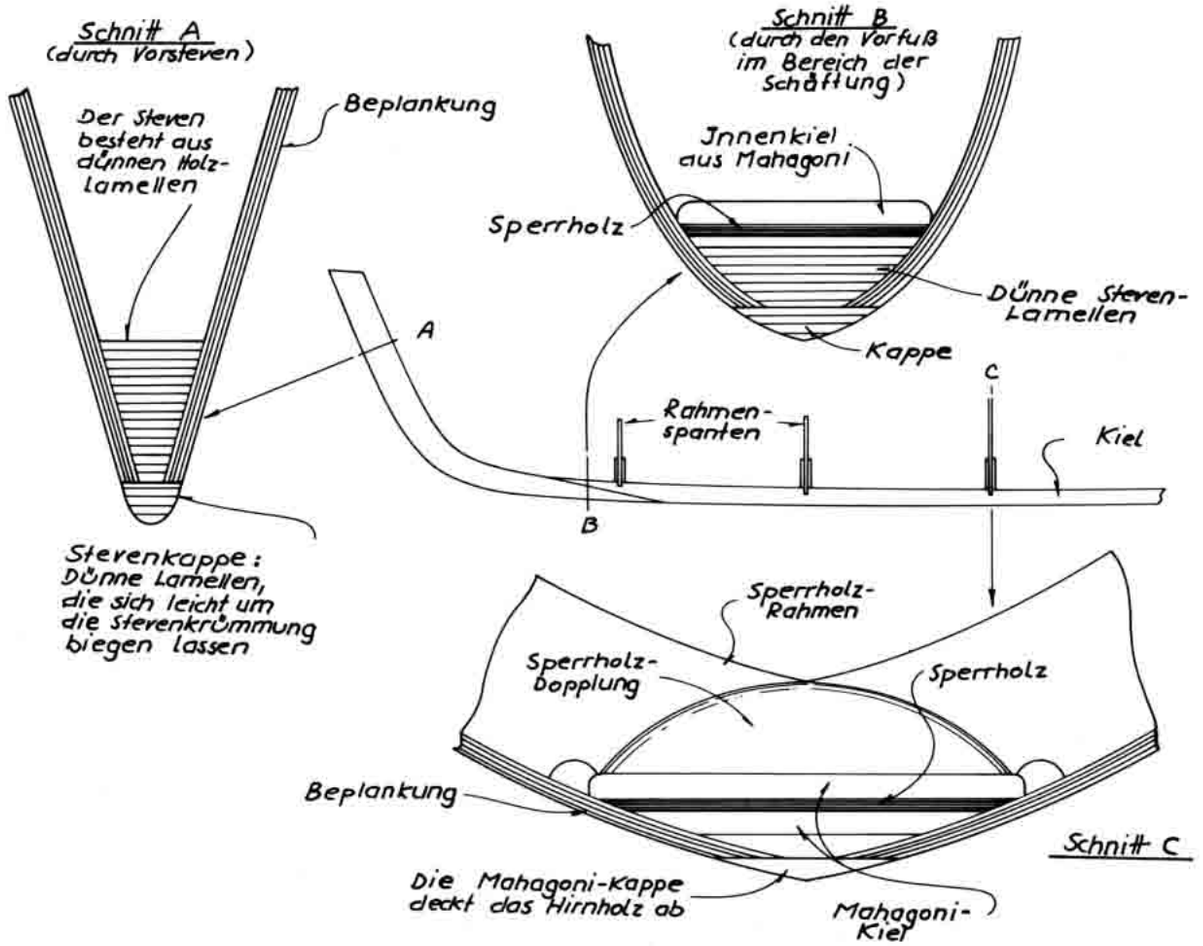


Bild 16.1 – Querschnitte vom Rumpf des 18 m langen Trimarans ROGUE WAVE. In den Kiel ist ein Sperrholzstreifen einlamelliert. Die querlaufenden Fasern in dieser Platte wirken den Querkräften von Kiel und Schwertkasten entgegen, die sonst möglicherweise zum Aufplatzen führen könnten.

Auch Steven sind im Bereich des Decks üblicherweise sehr viel breiter als in der Wasserlinie.

Um alle diese Abmessungen zu entwickeln, muß man wieder auf den Schnürboden zurückgehen und die Form des Kiels bei jedem Spant aufreißen. Wenn der Konstrukteur keine genauen Kielmaße angegeben hat, muß der Querschnitt des Kiels bei mehreren Spanten in den Spantenriß eingezeichnet werden. Die Grundlage, auf der wir die Kielform und seine Größe ermitteln, beruht auf der für die Verleimung notwendigen Oberfläche. Breite Kiele haben eine größere Oberfläche und sind daher vorzuziehen. Wenn man diesem Gesichtspunkt folgt und die Leimfläche festlegt, wird man feststellen, daß der flachere Bereich mittschiffs es gestattet, die Kielhöhe zu verringern, während der Kiel im schärferen Vorstevenbereich sehr viel dicker werden muß, um die gleiche Leimfläche zu bieten. Der Steven kann sogar zwei-bis dreimal so dick werden wie der Kiel, da die Schärfe des Vorschiffes die Klebefläche sonst zu stark verringern würde.

Wenn man die Form des Kiels an einigen Spanten entwickelt hat, kann man den Kiel über seine gesamte Länge in den Abmessungen festlegen und ausstraken. Es ist notwendig, sich daran zu erinnern, daß die Dicke der äußeren Kappe von der Außenkontur des Rumpfes abgezogen werden muß. Manchmal ist es schwierig, den Steven aus dem Schnürbodenplan korrekt zu entnehmen (siehe Kapitel 13). Dort wird das Verfahren eingehend beschrieben, auch werden in diesem Kapitel Hinweise für die Entwicklung der Stevenmaße geliefert.

Nun müssen wir noch den Übergang zwischen Steven und Kiel festlegen, in den meisten Fällen dicht am Vorfuß. Hierzu brauchen wir eine Schäftung von 10:1 oder 12:1, um einen guten Übergang der Festigkeit zu erreichen. Die Verbindung wird also recht lang. Da beide Bauteile auch noch eine leichte Krümmung aufweisen können, ist die Verbindung Kiel/Steven durch eine Schäftung recht aufwendig in der Herstellung. Es gibt keine feste Regel, ob nun der Kiel über den Steven greifen soll, oder umgekehrt, die Hauptsache ist, daß der Übergang gut und gleichmäßig ist.

Nachdem Steven und Kiel aufgerissen worden sind, muß die Schäftung festgelegt werden. Dann wird die Sponungslinie eingezeichnet, die Linie also, an der sich Innenkante Beplankung und Steven bzw. Kiel treffen. Von diesem Bereich muß nun ein Modell oder eine Schablone hergestellt werden. Am einfachsten geschieht das mit der Übertragungsmethode durch Nägel, die in Kapitel 14 beschrieben ist. Am besten greift man alle zur Verfügung stehenden Maße für die Seitenansicht,

Bild 16.2 – Der lamellierte Steven der Proa SLINGSHOT. Die seitliche Aufdopplung ist wegen der leichten Krümmung des Stevens nötig. Der Zentrierdraht läuft dicht über dem Boden und in einen Schlitz im Vorsteven (Ganz unten links).

Seite Deck, die Schäftung, den Spant und die Sponungslinie gleichzeitig ab und überträgt sie auf das Bauteil. Alle Maße werden geprüft und alle Linien eindeutig beschriftet. Dann wird die Schablone ausgesägt und sorgfältig abgearbeitet, bis sie mit den Schnürbodenmaßen übereinstimmt.

Hat man vor, ein Boot nach der Mallmethode für lamellierte Rümpfe zu bauen, erfordert das Einfügen eines festen Stevens in die Form einige zusätzliche Schritte. Es kann notwendig sein, einen inneren Mallsteven anzusetzen. Auch dieses Teil muß vor Beginn der Rumpfarbeiten entsprechend den Hinweisen in Kapitel 18 aufgeschnürt und eingepaßt werden.

Zu diesem Zeitpunkt sollte man schon eine klare Vorstellung von der Form und den Dimensionen von Kiel und Steven haben, so daß man das Holz vorbereiten kann, aus dem man den Rohling für Kiel und Steven herstellen will. Man kann ihn bereits auf die endgültigen Maße bringen, aber es lohnt sich doch, leichte Zuschläge zu machen, damit man später etwas Dicke abarbeiten kann. Es ist zwar möglich, etwas Holz zu sparen, indem man den Rohling bereits aus Längen, Breiten und Dikken unterschiedlicher Abmessungen zusammensetzt, so wie es später der Kiel erfordert, aber das ist normalerweise ein sehr kompliziertes Verfahren, da hiermit sehr viel Planung und Arbeit verbunden ist, alle diese Teile entsprechend zu schneiden und zusammenzufügen. Praktischer ist es, die Dicke von Kiel und Steven durch schrittweises Abstufen zu variieren.

Kiel- und Stevenrohlinge sollten immer etwas länger sein als man sie benötigt. Die Schäftung verbraucht etwas von dem Zuschlag, muß also eingeplant werden. Da außerdem die Spitze des Vorstevens meistens am Fundament befestigt wird, benötigt man auch oberhalb Seite Deck noch etwas Holz. Der Kielrohling sollte etwas über die Spiegelkante hinausreichen, um später Material beim Anpassen zur Verfügung zu haben.

Das Rückstellvermögen des Holzes kann den Bau von Kiel und Steven etwas komplizieren. Beim Kiel ist dieses Rückstellvermögen manchmal so leicht, daß man ihn wieder in die gewünschte Lage zurückdrücken kann. Die lamellierten Steven sind aber meistens dicker, und ihr Rückstellvermögen kann höher sein. Wenn es unmöglich ist, den Steven in die gewünschte Form zu bringen, kann es nötig sein, auf der einen Seite etwas zusätzliches Holz aufzuleimen und von der anderen wieder abzutragen, um die gewünschte Kontur zu erhalten.

Bild 16.3 – Das Spantengerüst im Vorschiff der 12,8 m langen Segelyacht GOLDEN DAZY. Der Kiel liegt im Hintergrund auf Sägeböcken. Der nur schwach gekrümmte Boden dieser Yacht erlaubt es, den Kiel aus einem Massivholz zu fertigen.

Formen zum Lamellieren

Der Steven wird wahrscheinlich das größte und schwierigste lamellierte Bauteil in einem Rumpf sein. Außerdem ist es meistens das erste Bauteil dieser Art, das man benötigt. Hierfür lohnt sich wieder ein „Trockenlauf", bevor man das WEST SYSTEM Harz aufträgt.

Wir verleimen unsere Stevenrohlinge meistens auf dem Fußboden, wobei die Form durch Hölzer bestimmt wird wie in Kapitel 9. Man sollte darauf achten, daß sich das lamellierte Bauteil nicht verwindet. Da der Steven in der Mittellinie des Bootes liegen muß, führt jede Verwerfung zu Komplikationen beim Anzeichnen der Mittellinie und beim Ausrichten des Stevens während des Baus.

Man kann auch dreieckige Hölzer benutzen, um den Kiel zu lamellieren. Wir bauen den Kiel oftmals direkt in unser Mallspantensystem ein, wobei wir die Rahmen zur Formgebung benutzen. Die Schwierigkeit hierbei besteht darin, daß die lamellierten Rohlinge meistens breiter sind als der spätere Kiel. Also muß der Rohling erst zugepaßt werden, bevor er in die Ausklinkungen im Kiel eingefügt werden kann. Der Trick besteht nun darin, daß man die richtige Form findet, ohne die Mallspanten zu beschädigen.

Wir empfehlen, folgendermaßen vorzugehen: Zunächst sollte man parallel zur eingezeichneten Kielaussparung in einem gewissen Abstand eine zweite Linie ziehen. Dieser Abstand muß auf allen Rahmen gleich sein. Die Höhe wird dadurch bestimmt, daß diese Kante oberhalb der Aussparung liegen muß. Dann werden alle Rahmen auf diese Art gekennzeichnet und an dieser neuen Markierung abgesägt.

Als nächstes werden etwa 40 mm starke Kantholzabschnitte auf die Mallseite der Spanten geschraubt oder mit Schraubzwingen befestigt. An diesen wird später der Kielrohling angezogen. An der Verbindung vom Kiel zum Rahmen sollten kleine Nüstergatten eingesägt werden, allerdings etwas breiter als der Kielrohling. Dabei muß man darauf achten, daß der Rahmen hierdurch nicht zu sehr geschwächt wird und weiterhin für die Formgebung benutzt werden kann. Bei dickeren Kielen reicht es aus, wenn diese Nüstergatten nicht bis zur vollen Tiefe der Ausklinkung hinunterreichen. Da der Kiel hinter dem Spiegel noch etwas überstehen sollte, muß man ihn dort extra abstützen. Das gleiche gilt auch für den Steven. Diese Abstützung kann aus einem zusätzlichen Hilfsspant im Vorschiff oder hinter dem Spiegel bestehen. Wegen des Rückstellvermögen des Holzes ist es gut, die Kurve etwas zu verstärken.

Wenn der lamellierte Kielrohling nun in der richtigen Lage ist, wird er bei jedem Mallspant oder Rahmen mit Schraubzwingen befestigt, wobei diese zunächst mit einer Folie überzogen werden, um das abtropfende Harz nicht auf die Rahmen fallen zu lassen. Beide Seiten des Kielrohlings sollten mit den Hilfsklötzchen zusammengespannt werden. Um wirklich gleichmäßigen Druck zu erzeugen, eignen sich am besten die üblichen Schraubzwingen mit untergelegten Hölzchen zur Druckverteilung. Herausquelledes Epoxid wird entfernt.

Der Zusammenbau von Kiel- und Stevenrohling

Die Mittellinien und Markierungen der Mallspanten werden auf Kiel-und Stevenrohling angebracht, während diese noch auf dem Mallspantengerüst befestigt sind. Um die Innenseite des Stevens zu kennzeichnen, braucht man nur ein Lot so zu justieren, daß es direkt auf den Zentrierdraht zeigt und dann den Punkt, an dem man die Schnur am Steven anhält, mit einem Bleistiftstrich zu versehen. Diese Punkte werden dann mit einer Latte verbunden.

Mit Hilfe der Wasserwaage werden nun Spantmarkierungen senkrecht zur Mittellinie angebracht, dann wird die Breite des Kiels und Stevens an ihrer jeweiligen Stelle markiert. Die Rohlinge müssen jetzt an den Seiten auf ihr Endmaß gebracht werden, aber das endgültige Schmiegen soll erst dann geschehen, wenn beide geschäftet sind. Die früher abgenommene Schablone des Stevens wird auf den Rohling gelegt, oder man nimmt diesen mit auf den Schnürboden. Alle Bezugslinien und die Schäftung werden angezeichnet.

Als nächstes folgt nun das Schneiden der Schäftungen und das Verbinden der beiden Bauteile auf dem Spantengerüst. Wenn die Winkel der Schäftung nicht perfekt aufeinanderliegen, sollte diese nachgearbeitet werden. Wir geben bei dieser Schäftung im allgemeinen etwas zu. Liegen die Flächen sauber aufeinander, arbeiten wir den Überstand ab.

Wir verleimen die Schäftung meistens direkt auf dem Spantengerüst, wobei Kiel und Steven bereits in ihrer endgültigen Position sind. Sobald die Schmiegen korrekt angebracht sind, kann man die Verbindung dort zusammenzwingen, wo man es wünscht, wobei man allerdings sorgfältig vorgehen sollte, damit die Mittellinien der beiden Bauteile nicht gegeneinander verrutschen.

Sobald Kiel und Steven nun ein einziges Bauteil sind, werden sie auf der dem Rumpfinneren zugewandten Seite vorbeschichtet. Die Fläche wird gehobelt und geschliffen und alle Rundungen bereits angebracht. Dann trägt man zwei Lagen WEST SYSTEM Harz auf diese Oberfläche auf und schleift sie leicht an, bevor die Kiel/Steven-Sektion wieder eingefügt wird.

Der letzte Schritt bei der Herstellung der Kiel/Steven-Einheit besteht darin, die Schäftungen anzubringen, auf die später die Beplankung geleimt wird. Man kann das mit den Maßen aus dem Schnürboden machen, aber im Spantengerüst selbst ist das sehr viel einfacher, weil dort die Mallkanten als Schmiegenlehre dienen können.

Das Ausklinken der Rahmen

Sind Kiel und Steven verbunden und in ihre endgültige Form gebracht, werden die Rahmen und Mallspanten ausgeklinkt, um das Bauteil einzulassen. Breite und Tiefe dieser Ausklinkungen ergeben sich bei jedem Spant aus den entsprechenden Maßen des Kiels. Sie werden auf dem Rahmen angezeichnet, und die Ausklinkungen werden so sorgfältig wie möglich eingebracht. Die Schmiege dieser Nuten ist die gleiche wie die des Rahmens im Bereich der Nut.

Besonders dort, wo der Kiel mit fertigen Rahmen und Schotten verbunden wird, ist eine gute Passung unbedingt notwendig. Hat der Kiel eine gleichmäßige Dicke, kann man den Strak der Nuten mit einer Latte prüfen. Wir legen meistens das fertige Kiel/Steven-Bauteil in die Nuten ein, um den Strak endgültig zu bestimmen. Der Steven liegt oftmals nur im Bereich von ein oder zwei Spanten an. Wegen der Schärfe ist es unüblich, hier eine Ausklinkung anzubringen, statt dessen wird die Spitze des Spants oder Rahmens flach abgeschnitten, so daß der Steven direkt aufliegt.

Bild 16.4 -Der lamellierte Kiel aus Esche ist an den massiven Mahagoni-Kiel angeschäftet.

Der Einbau der Kiel/Steven-Sektion in das Spantengerüst

Die Kiel/Steven-Einheit wird an jeder Spantposition im Gerippe befestigt. Dann folgt die Verbindung mit allen Bauteilen, die im Rumpf verbleiben, durch eine dicke Mischung aus Epoxid und hochdichtem Füller. Die Teile werden mit Schraubzwingen zusammengezogen, wenn sie sich leicht an-

Bild 16.5 – Die Kiel/Steven-Einheit wird in das Mallspanten-Gerüst der 9,75 m langen HOT FLASH eingefügt. Die Mallspanten sind ausgeklinkt, so daß der Kiel paßgerecht mit den Mallen abschließt. Der Steven wird durch einen eigenen Fußblock gehalten.

Bild 16.6 – Der lameUierte Kiel der ROGUE WAVE, mit den Rahmenspanten verleimt. Der Kiel ist fertig zum Schmiegen. Der Rahmen im Bereich des Schwerkasten-Ausschnitts bleibt zunächst voll, um ein Verwinden des Kiels während des Beplankens zu verhindern. Der Schwertkasten wird erst nach dem Umdrehen des Bootes eingebaut. In diesem Fall war er außerdem zu groß, um ihn über Kopf einzufügen.

schmiegen, sonst müssen Löcher gebohrt werden, durch die die Schrauben den Kiel an die Spanten ziehen. Benutzt man Schrauben dazu, muß man sie rechtzeitig wieder entfernen, bevor man mit dem Schmiegen beginnt. Die Bohrlöcher werden während der Endbearbeitung wieder aufgefüllt. Um nicht unnötig viel Schleifen zu müssen, sollte Epoxid, das aus den Fugen quillt, gleich entfernt werden.

Um Kiel und Steven mit den Mallspanten zu verankern, werden Kanthölzer und Schrauben etwa in der gleichen Art benutzt, wie sie bereits für lamellierte Bauteile beschrieben wurden. Dazu werden quadratische Kanthölzer entsprechender Abmessungen auf die Mallseite des Spants geschraubt und zwar so, daß sie genau mit der ausgenuteten Kante übereinstimmen. Sie werden dann mit mehreren Schrauben und möglicherweise auch mit Kleber gehalten. Jedes Kantholz wird nun wenigstens einmal durchbohrt (obwohl man auch mehrere Löcher benutzen könnte). Dann wird von unten her eine Holzschraube durch den Block geführt, die von innen her in den Kiel geschraubt werden kann. Zur Druckverteilung empfehlen sich große Unterlegscheiben. Die Schraube darf nicht so lang sein, daß sie später mit dem Schmiegen der Außenfläche des Kiels kollidiert. Nach Beendigung der Bauarbeiten am Rumpf werden die Schrauben wieder entfernt.

Die Spitze des Stevens muß unbedingt zusätzlich abgestützt werden, damit sie sich beim Schmiegen nicht verschiebt. Man kann dazu das überstehende Ende des Stevens oberhalb Seite Deck benutzen. Wenn die Beplankung aufgebracht ist, wird der Steven mit der Linie Seite Deck glatt gesägt.

Das Schmiegen von Kiel und Steven für das Beplanken

Sind nun Kiel und Steven fest mit dem Spantengerüst verbunden, werden sie zum Schmiegen markiert. Auch hierfür benutzen wir meistens einen Fuchsschwanz. Der Schnitt wird so geführt, daß die Kerbe dem Verlauf des ausgeklinkten Mallspants folgt. Das überschüssige Material zwischen den Nuten kann nun mit dem Stecheisen entfernt werden. Dann glätten wir diese Schäftung in Verlängerung des Mallspants. Das wird nun bei jedem Spant entlang des Kiels wiederholt. Mit einer Rauhbank werden jetzt die Seiten des Kielrohlings heruntergearbeitet, bis überall die gewünschte Schmiege vorhanden ist. Bei langen Kielen kann eine Hobelmaschine gute Dienste tun. Man muß sehr sorgfältig arbeiten, um keine Vertiefungen zwischen den Spanten einzuarbeiten, und der Verlauf der Schmiege muß laufend mit einer Straklatte geprüft werden. Sollte man doch einmal feststellen, daß zuviel Material weggenommen wurde oder der Kielrohling nicht ganz das notwendige Maß hatte,

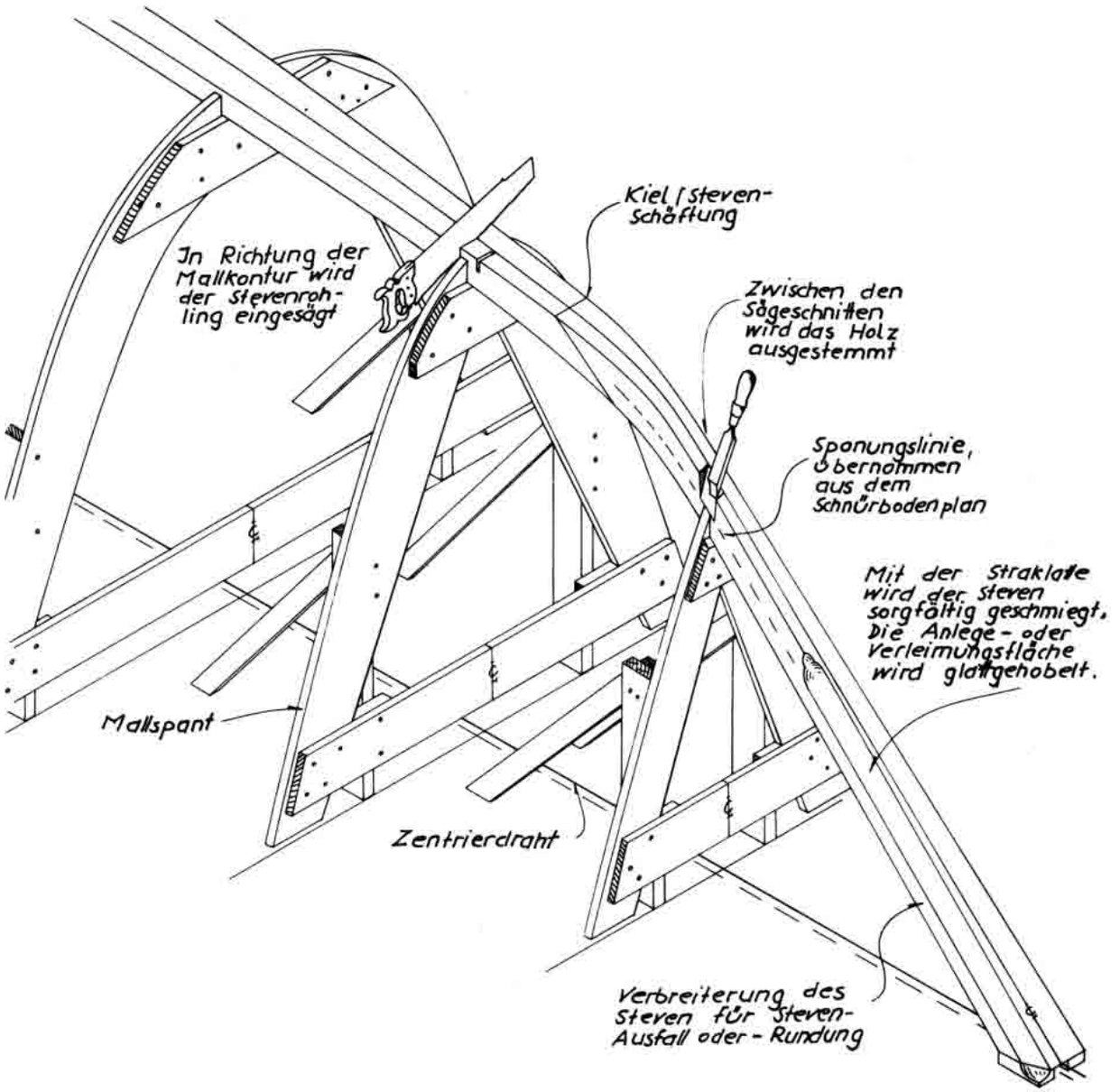


Bild 16.7 – Mallspanten und Steven einer typischen IOR-Rennyacht. Am Steven sind die Bezugslinien angezeichnet. An den Mallen wird die Schmiege des Kiels eingesägt. Die Oberkante Steven ist vom Fußboden freigekeilt, so daß der Zentrierdraht durchgezogen werden kann.

kann man einfach eine zusätzliche Lage Furnier oder dünnes Sperrholz in diesem Bereich aufleimen und das Holz dann entsprechend der gewünschten Schmiege nacharbeiten. Steven sind etwas schwieriger zu schmiegen und zwar aus mehreren Gründen. Zunächst kann man sich meistens nur auf zwei Spanten als Führung verlassen. Zweitens sind die Schmiegen sehr viel schärfer und V-förmiger, so daß man sehr viel Material abtragen muß. Weiter oben im Rumpf (dicht an Seite Deck) kann es vorkommen, daß der Steven wieder verhältnismäßig flach wird. Dieser flache Bereich wird später durch die lamellierte Kappe noch aufgedickt, die sowohl den Steven, wie auch die Beplankung überdeckt (siehe Abb.1).

Der Querschnitt des Stevenrohlings ist erheblich eckiger als die später gewünschte Form. Wird der Steven in seiner Position mit abstützenden Hölzern gehalten, muß seine Richtung mit Hilfe der Mittellinie auf der Innenseite laufend bei jeder Spantposition geprüft werden. Ist der Steven nun sauber ausgerichtet, werden alle Maße aufgetragen, die man für das Schmiegen braucht. Normalerweise sind die wichtigsten Maße die Mallkanten, die auf der Frontseite des Stevens aufgebracht worden sind. Diese Kontrollinien können entweder genau

in der Mittellinie zusammenfallen oder, wenn der Steven ausfällt, sind es zwei Linien, die die Kante beschreiben. (Siehe Kapitel 13 mit detaillierter Erörterung der Entwicklung der Stevenmaße).

Wir beginnen mit dem Schmiegen des Stevens auf beiden Seiten gleichzeitig, bis diese Kontrollinien erreicht sind. Zwischendurch wird immer wieder mit der Straklatte geprüft, ob die Richtung stimmt. Dabei sollte die Latte wenigstens drei oder vier Spanten überspannen. Liegt die Latte glatt an der Stevenschmiege an, sind wir fertig. Das Schmiegen eines Stevens kann recht aufwendig und kompliziert sein, da auf einer kurzen Entfernung oftmals eine starke Änderung des Winkels auftreten kann. Aus diesem Grunde sollte man die Arbeit so häufig wie möglich mit der Straklatte prüfen, um nicht zuviel Material wegzunehmen. Eine visuelle Kontrolle von oben oder entlang des Stevens vom Fußboden aus hilft, Fehler zu entdecken. Ab und zu wird auch der Verlauf mit einer kurzen Straklatte am Steven entlang kontrolliert.

Das Kielschwein

Kiele können viele Formen besitzen. Die in Bild 8 gezeigte Bauweise ist eine der sinnvollsten Lösungen des Problems, wie man hohe Punktbelastungen, die z.B. durch einen Ballastkiel hervorgerufen werden, auf eine möglichst große Fläche überträgt. Diese Art von Kiel und Kielschweinanordnung ist vom Prinzip her ein verhältnismäßig leichter I-Träger, bei dem die beiden Gurtungen durch einen hohen Träger als Steg unterstützt werden. Lamellierte Bodenwrangen und Spanten verteilen die Belastung in Querschiffsrichtung.

Kielschweine stellt man sinnvollerweise aus dichten Hölzern von hoher Festigkeit her. Esche z.B. ist hierfür eine gute Wahl. Wir bauen Kielschweine normalerweise ein, nachdem der Rumpf vom Spantengerüst entfernt worden ist. Das Kielschwein wird über die fertig installierten Bodenwrangen und den Mittelsteg verleimt, mit dem zusammen es später eine Einheit bildet.

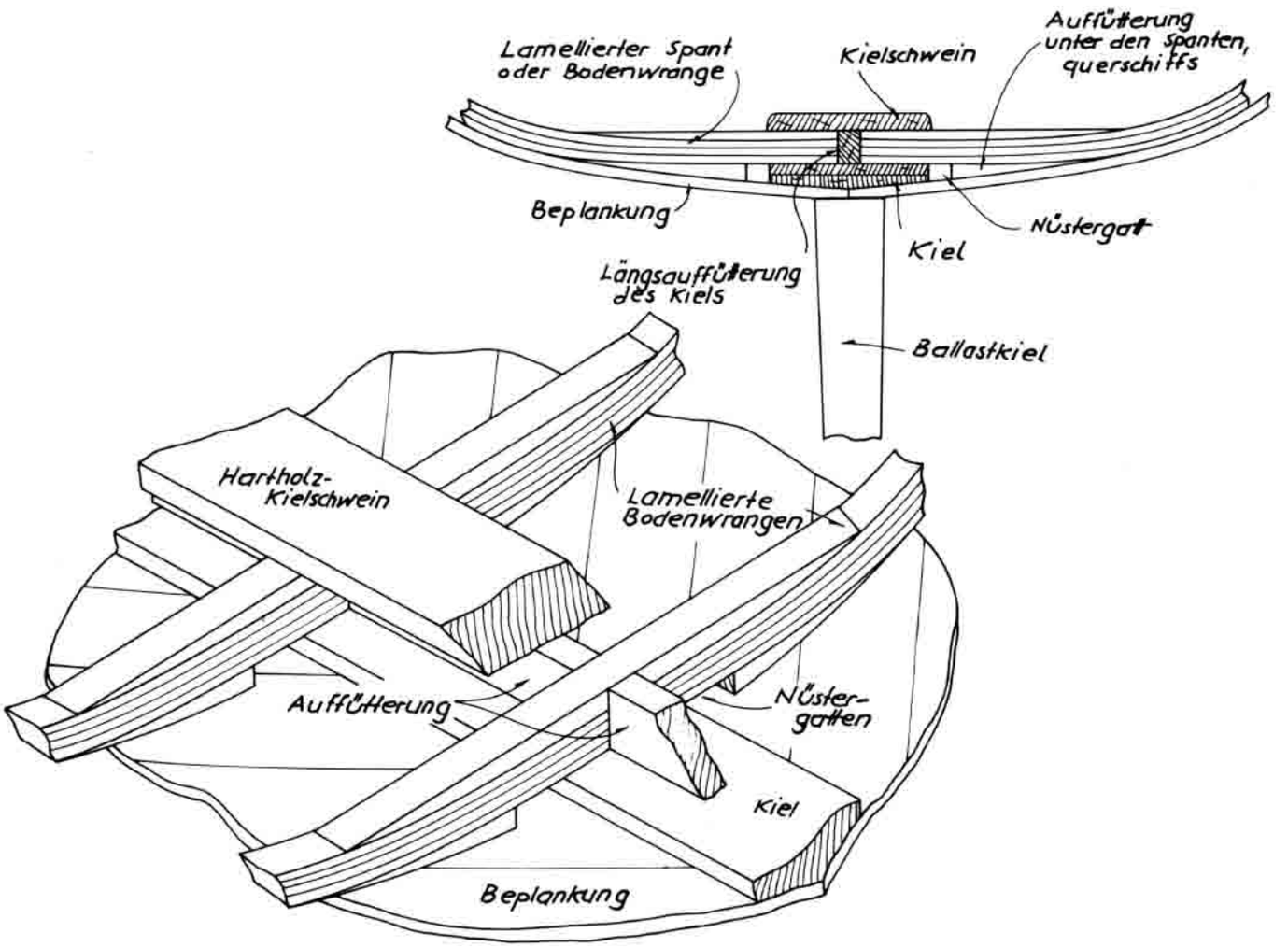


Bild 16.8 – Anordnung von Kiel, Bodenwrangen und Kielschwein.

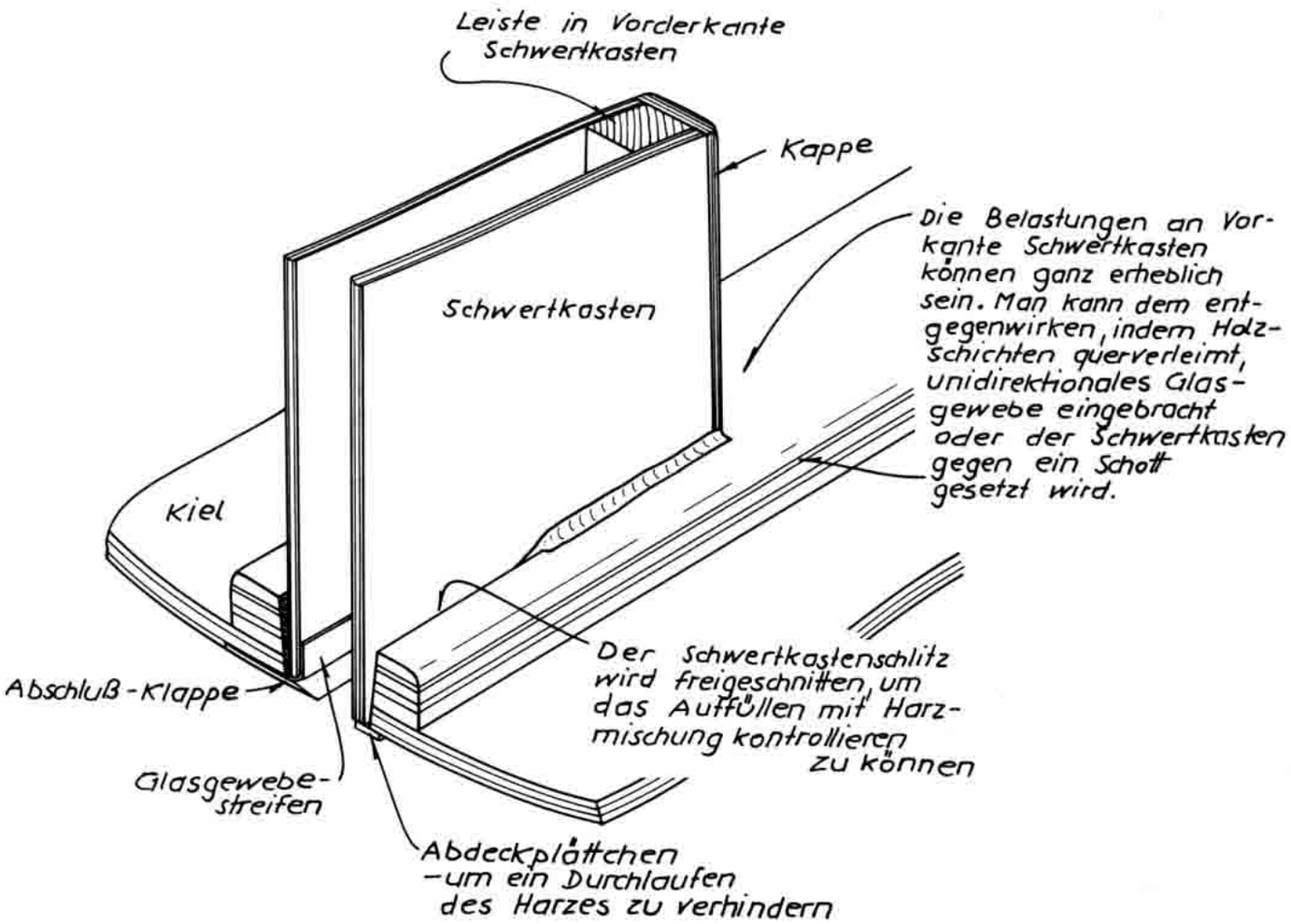

Leiste in Vorderkante Schwertkasten
Kappe
Die Belastungen an Vorkante Schwertkasten können ganz erheblich sein. Man kann dem entgegenwirken, indem Holzschichten querverleimt, unidirektionales Glasgewebe eingebracht oder der Schwertkasten gegen ein Schott gesetzt wird.
Schwertkasten
Kiel
Der Schwertkastenschlitz wird freigeschnitten, um das Auffüllen mit Harzmischung kontrollieren zu können
Abschluß-Klappe
Glasgewebestreifen
Abdeckplättchen -um ein Durchlaufen des Harzes zu verhindern

Bild 16.9 – Einzelheiten zur Fertigung und zum Einbau eines Schwertkastens.

Der wesentliche Vorteil des Kielschweins in bezug auf die Festigkeit besteht darin, daß es bei niedrigem Gewicht eine ausgezeichnete Längssteifigkeit und -festkeit liefert. Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß diese Bauweise einen hohen Sicherheitsfaktor darstellt, wenn eine moderne Yacht mit Flossenkiel einmal hart auf Grund läuft. Das kann ganz erhebliche Belastungen auf den Rumpf bringen, da der hintere Teil des Ballastkiels nach oben in die Rumpfkonstruktion gedrückt wird. Das Beste an der Konstruktion besteht darin, daß das komplizierte Bauteil einen großen Teil der Energie aufnimmt, indem der untere Teil des Kiels auf Druck und das Kielschwein auf Zug beansprucht werden, und das ist nun eben die große Stärke von Holz. Das Kielschwein nimmt in diesem Fall eine enorme Menge Energie auf, so daß kein anderes Bauteil des Rumpfes geschädigt werden wird. Ein Kielschwein ist außerdem sehr einfach zu reparieren, indem man z.B. bei einer Bruchstelle ein neues Stück einschäftet, und die Reparatur wird verhältnismäßig billig. Ein weiterer Festigkeitsvorteil besteht darin, daß der Außenkiel kleiner als sonst notwendig hergestellt werden kann, so daß Bodenwrangen und Spanten von entsprechender Höhe über dem Kiel angebracht werden können, ohne daß er ausgeklinkt werden muß. Die Lastverteilung in Querschiffsrichtung ist also ausgezeichnet, und als Beigabe erhält man noch eine besonders große Stehhöhe. Ein Kielschwein ist ein gutes Beispiel für eine volle Ausnutzung des Materials, und es läßt sich in wenigen Stunden herstellen.

Schwertkästen

Ein Schwertkasten ist im Prinzip eine Verlängerung eines Kiels nach oben, in dem ein Schwert geführt wird. Auf einen Schwertkasten wirken besonders hohe Belastungen, deshalb treten Beschädigungen oder Leckagen in diesem Bereich

besonders häufig auf. Daher sollte auch der Kiel im Bereich eines Schwertkastens besonders sorgfältig ausgelegt und gebaut werden. Man kann das bewerkstelligen, indem man den Kiel in diesem Bereich sehr viel dicker macht als in anderen, und wenn man mehr Sperrholz verarbeitet, um die Querfestigkeit zu erhöhen und die Neigung zum Splittern zu verringern. Der Großteil der Belastung wird auf den Schwertkasten im vorderen Teil auftreffen, wo der Kiel geschlitzt werden muß. Hier können die höchsten Punktbelastungen im gesamten Verband des Bootes auftreten. Daher sollte der Bereich an Vorderkante Schwertkasten ganz besonders stark gebaut werden, um die Last so gut wie möglich zu verteilen.

Abb.9 zeigt unsere Technik für den Bau eines Schwertkastens. Zunächst wird der Kiel etwas breiter geschlitzt, als es der Schwertkasten erfordern würde. Die Seiten des Schlitzes werden leicht angeschrägt, so daß sie keilförmig nach unten zeigen. Der vorgefertigte Schwertkasten wird nun so eingefügt, daß er mit Unterkante Kiel glatt abschließt. Er wird dann mit dem Lot auf seine Lage hin geprüft und zu den Seiten hin abgestützt.

Als nächstes müssen wir sicherstellen, daß Epoxidharz nicht durch die Kiel/Schwertkasten-Verbindung abtropft. Die Kante wird dazu von unten her mit Holz abgedichtet oder mit Epoxidspachtel verklebt, den wir zunächst aushärten lassen. Wir benutzen hierfür meistens dünne Sperrholzplatten, die wir in Plastikfolie einwickeln und dann von unten gegen den Kiel befestigen, wie Abb.9 zeigt. Das hilft nicht nur gegen das Durchsickern des Harzes, sondern hält auch zugleich den Schwertkasten in seiner Position fest. Da das Sperrholz in Plastikfolie eingewickelt ist, kann man es später wieder leicht entfernen.

Dann wird eine Mischung, die leicht mit hochdichtem Füller angedickt ist, in die keilförmige Fuge gegossen, und zwar bis zur Oberkante des Innenkiels. Zum Schluß werden die Kanten noch mit einer Spachtelkehle versehen. Man kann diesen Bereich zusätzlich noch mit GFK beschichten, falls das erwünscht ist. Wir empfehlen, Glasgewebestreifen in den Ecken anzubringen, also dort, wo Kiel und Schwertkasten zusammentreffen.

Das Ergebnis wird ein absolut einwandfreier Verbund zwischen Schwertkasten und Kiel sein, der Belastungen sehr effektiv auf den Kiel überträgt. Die Möglichkeiten, daß es zu einem Bruch in der Verbindung zwischen Schwertkasten und Kiel kommt, sind so niedrig wie nur irgend möglich. Daher wird das Boot im Wasser auch kaum lecken können.

Der Bau des Balkwegers

Wir bauen unsere Balkweger meistens aus zwei oder drei langen Stücken, genau wie wir auch Kiele herstellen. Alle Balkweger mit einer Stärke von mehr als 25 mm sollten lamelliert werden. Die Balkweger der meisten Boote haben einen Verlauf, der sehr viel stärker gekrümmt ist als ein Kiel, und sie haben über die Bootslänge gesehen mehr Drehung, da der vordere Bereich des Bootes stark

Bild 16.10 – Lamellieren des Balkwegers. Die Mallen sind noch nicht ausgeklinkt. Nach dem Aushärten wird der Balkweger abgenommen, nachgearbeitet und vorbeschichtet. Dann kann er in die Ausklinkungen eingelassen werden.

Bei jedem Boot sind Abmessungen und Ausführung der Rumpf/Deck-Verbindung unterschiedlich und hängen von verschiedenen Faktoren ab:
1. Verdrängung des Bootes.
2. Belastung, denen die Verbindung als einzelnes Bauteil oder innerhalb des Verbandes ausgesetzt ist.
3. Auslegung der Querrahmen und -spanten.
4. Sorgfältige Abstimmung der Festigkeit der Holzfaser und der Oberfläche der Klebeverbindung. (in einem mit Harz verleimten Boot)
Dübel verhindern ein mögliches Splittern
Schotte oder ausgeklinkte Rahmen vergrößern die Festigkeit der Rumpf/Deck-Verbindung erheblich.

Bild 16.11 – Überlegungen zur Konstruktion des Balkwegers.

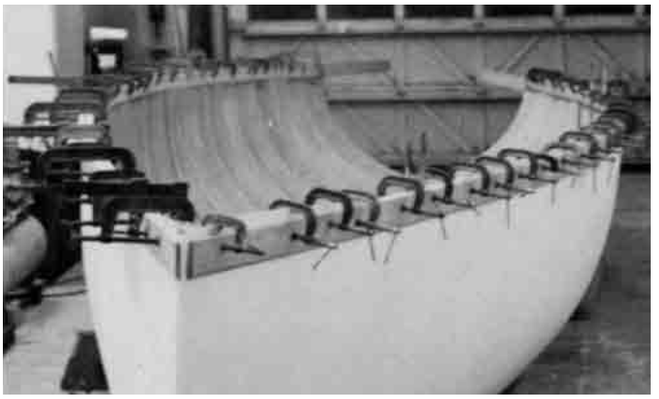


Bild 16.12 – Hier wird der Balkweger direkt in der Rumpfschale lamelliert. Der äußere Holzstreüen schützt die Außenhaut gegen DruckstelIen der Schraubzwingen.

ausfällt, so daß man sich schon Gedanken machen muß, daß dieses Bauteil nicht splittert oder reißt.

Die aufgestellten Mallspanten können als Form für das Lamellieren des Balkwegers benutzt werden, gen au wie für den Kiel beschrieben. Dazu werden Montageklötze beidseitig am Spant mit Schraubzwingen befestigt, an die nun wieder der Balkweger geklemmt werden kann. Diese Klötze sollten stark genug sein, um das Gewicht vieler Zwingen zu tragen (beim Herstellen eines Kiels wirkt das Gewicht der Klampen positiv, da es nach unten drückt, beim Zusammenzwingen eines Balkwegers zeigt die Schraubzwinge jedoch nach außen). Ist der Balkweger sehr stark verdreht, kann es nötig sein, die Rahmenspanten durch zusätzliche Stützen am Verbiegen zu hindern.

Eine ungewöhnliche Verdrehung eines Balkwegers kann man sehr leicht feststellen, indem man einen Stock im rechten Winkel an ihm anzwingt, mit dem man eine Hebelwirkung ausüben kann. Dazu braucht man die Außenseite diese Holzes nur nach oben oder unten hin abzustützen, so daß ein Großteil der Spannungen aus dem Rahmenspant genommen wird. Ist der Balkweger auf diese Weise lamelliert, wird er gehobelt und geschliffen und alle Außenflächen werden mit zwei oder mehr Schichten WEST SYSTEM Epoxid überzogen. Dann werden die Mallspanten ausgeklinkt und der Balkweger in das Spanten gerüst eingefügt, in der gleichen Art, wie auch der Kiel.

Benutzt man die Stringer/Rahmenspant- oder die Leistenplank-Methode, um einen Rumpf herzustellen, wird der Balkweger üblicherweise vor dem Aufplanken eingebaut. Bei der Mallmethode, manchmal auch bei kleineren, leistengeplankten Booten, braucht man ihn für die Herstellung der Außenhaut gewöhnlich nicht, und man kann ihn später einbauen, wenn der Rumpf fertig ist. Folgt man diesem Hinweis, sollte man daran denken, Unterlegklötze zu benutzen, um den Rumpf nicht zu beschädigen.

Kapitel 17

Lamellierte Rümpfe – eine allgemeine Diskussion

Es gibt viele Bauweisen für ein Holzboot. Ein Rumpf kann traditionell gebaut sein, mit Klinker- oder Karweelbeplankung. Es kann lamelliert sein, aus Holzschichten über einem im Rumpf verbleibenden oder einem Hilfskern. Und schließlich kann ein Boot, abhängig von seiner Form, aus Sperrholzplatten gebaut werden. Über den traditionellen Bootsbau sind schon viele Bücher geschrieben worden. Unser Augenmerk galt jedoch schon immer den Lamellier- und Sperrholzbauweisen, die wir in den nächsten Kapiteln ausführlich besprechen möchten.

Während man ein geeignetes Design sucht, sucht man gleichzeitig nach einer Bootsbaumethode. Die meisten Designer spezifizieren exakt, wie ihre Boote gebaut werden sollen, wenn nicht explizit, dann in den detaillierten Konstruktionszeichnungen. Wenn Sie Ihren Plan kaufen, wählen Sie damit auch Ihre Bauweise. Aus Gründen, die in Kapitel 2 behandelt wurden, warnen wir wiederum davor, eine Methode ohne Beratung durch Ihren Designer auszutauschen.

Lamellierte Rümpfe

Ein lamellierter Rumpf ist im Grunde ein Stück Sperrholz in Form eines Bootes. Schichten aus Furnier werden miteinander so verbunden, daß sie eine homogene oder teilweise homogene Struktur bilden, damit die meisten Belastungen, denen ein Boot ausgesetzt ist, von der Außenhaut aufgenommen werden kann. Diese Rumpfbauweise ist eine entschiedene Abkehr von traditionellen Bootsbauweisen und benötigt, um erfolgreich zu sein,ein gewisses Verständnis, sowohl vom Holz, als auch vom Konstruieren.

Wie wir in Kapitel 5 besprochen haben, ist Holz ein unidirektionaler oder anisotroper Werkstoff mit ausgezeichneter Dauerfestigkeit. Es ist stark in der Faserrichtung, quer dazu aber schwach, weshalb seine Fasern sorgfältig angeordnet werden müssen, um Lasten aufnehmen und weiterleiten zu können. Bei richtiger Anordnung behalten Holzfasern ihre Festigkeit über Millionen von Lastwechseln.

Um die Festigkeit von Holz optimal zu nutzen, muß man die Belastungen und die Kraftwege der benutzten Konstruktion erkennen. Das ist manchmal einfach. Die Belastungen an einem Mast zum Beispiel treten hauptsächlich in einer Richtung auf, so daß man die Fasern entlang seiner Längsrichtung orientieren kann, um eine angemessene strukturelle Festigkeit zu erhalten. Die Belastung des Rumpfes ist dagegen nicht so einfach zu bestimmen.

Wenn Boote segeln, sind sie Längs-, Quer- und Diagonalspannungen ausgesetzt. Jahrhundertelang haben Bootsbauer die Maserung abwechselnd ausgerichtet, mit längsgerichteter Beplankung auf Querspanten, um Strukturen zu erhalten, die diesen verschiedenen Lasten widerstehen können. Im Unterschied dazu laufen in einer lamellierten Rumpfschale die Holzfasern in alle Richtungen. Nicht ein einzelnes Stück Furnier muß hier die ganze Last quer zur Faser aufnehmen, sondern verschiedene Schichten teilen sie sich. Weil eine lamellierte Schale besser zur Aufnahme von Kräften geeignet ist, benötigt sie geringere Unterstützung durch Rahmen als ein traditionelles Boot.

Das Lamellieren erlaubt den Gebrauch von unidirektionalem Material beim Bau einer isotropen Schale. Eine unvorhergesehene Belastung ist weit weniger „schmerzhaft“, wenn eine Struktur in allen Richtungen Festigkeit aufweist. Holz ist auch leichter als andere Werkstoffe; daher kann die Außenhaut eines Holzrumpfes dicker sein als die eines Rumpfes aus anderen isotropen Werkstoffen.

Heißes und kaltes Formverleimen

Lamelliertechniken sind abhängig vom Klebstoff. Im Laufe der Zeit haben sich Methoden und Techniken zumindest teilweise aufgrund der Anforderungen der verwendeten Leime entwickelt. Verschiedene Klebstoffe erfordern unterschiedlichen Anpressdruck und unterschiedliche Temperaturen zum Aushärten. Einige benötigen gen aue Passungen, während andere Lücken überbrücken können. Diese Faktoren haben die Geschichte der lamellierten Rümpfe wesentlich bestimmt.

Bild 17.1 – Der 9,10 m (30 Fuß) IOR Halbtonner ACCOLADE ist das größte Boot, das wir mit der Block-Methode gebaut haben.

Bild 17.2 – Bildschönes Dinghi, von Steven Loutrel mit der Block-Methode gebaut.

Bild 17.3 – Formverleimtes Dinghi, gebaut von Peter Unger. Diese Größe und dieser Stil sind ideal für die Block-Methode.

Frühe lamellierte Rümpfe wurden heiß verleimt, ein Prozeß, mit dem heute das meiste Plattensperrholz hergestellt wird. Diese Technik entwickelte sich außerordentlich schnell während des zweiten Weltkrieges, als nicht genügend Stahl vorhanden war. Die damals zur Verfügung stehenden Klebstoffe benötigten Wärme – oft über 150°C, daher der Name „Heißverleimung“ – und häufig Drücke von 5 bar für gute Haftung. Das Lamellieren war also umständlich, weil große Autoklaven notwendig waren, um diese Temperaturen und Drücke aufzubringen. Die Investitionskosten für die Druckbehälter und -formen waren so hoch, daß das Heißverleimen ausschließlich im Rahmen von „Big Business“ blieb.

10 bis 15 Jahre nach dem zweiten Weltkrieg wurde die übriggebliebene Heißverleimungs-Ausrüstung noch für die Produktion von Rümpfen verschiedener Größen und Typen benutzt. „Luders 16“ und die „Thistle-dass“ Segelboote und kleine „Wolverine“ Außenborder-Runaboats sind Beispiele für heißverleimte Rümpfe. Während die Autoklaven und Werkzeuge ihren Geist aufgaben, entstand die GFK-Yachtindustrie mit geringeren Produktionskosten und ihrem besser zu vermarktenden, wartungsärmeren Produkt. Heißverleimte Rumpfschalen konnten gegen diese Kombination nicht den Wettbewerb gewinnen, und so starb diese Industrie aus.

In den frühen 50er Jahren kamen Klebstoffe auf den Markt, die weder Wärme noch Druck erforderten. Das Heißverleimen gab schrittweise den Weg für das *Kaltverleimen* frei. Die Aushärtung konnte bei Raumtemperatur nur mit Kontaktdruck erreicht werden, so daß die Kosten für Druckerzeuger entfielen. Ein einfacher Kern oder Block und Heftklammern waren alles, was man brauchte, um die lamellierten Teile zusammen zu halten. Weil nur ein Minimum an Werkzeugen und Maschinen benötigt wurde, konnten kleine Werften die Lamellier-

vorgänge durchführen, die bis dahin nur großen Serien vorbehalten waren.

Während unsere Rümpfe als formverleimt/kaltverleimt angesehen werden können, möchten wir lieber von lamellierten Schalen sprechen. Unsere Methoden sind direkte Nachfahren der Heißverleimungstechnologie, wie sie sowohl für Boote als auch für Flugzeuge während des 2. Weltkrieges angewendet wurde. Das WEST SYSTEM Marken-Epoxidharz, unser Beitrag zu diesem Bereich der Entwicklung, hat keine besonderen Anforderungen bezüglch des Anpressdrucks oder der Temperatur. Seine lückenfüllenden Eigenschaften sind von Vorteil, wenn der Anpressdruck beschränkt ist. Exakte Passungen sind damit nicht mehr von übergeordneter Wichtigkeit. Unsere Holz/Epoxidharz-Lamelliertechniken können weit bessere Ergebnisse und langlebigere, pflegeleichtere Boote hervorbringen, als sie vorher möglich waren.

Lamelliermethoden

In der Werkstatt der GougeonBrothers haben wir hauptsächlich drei Rumpf-Lamellier-Methoden angewendet: die *Blockmethode,* die *Leistenbauweise,* und die *Stringer-Methode.* Innerhalb jeder dieser Methoden ergibt sich aus unendlich vielen Variationen eine Flexibilität für verschiedene Situationen. Jede der drei Methoden hat Vor- und Nachteile, die wir hier kurz besprechen möchten. Detailliertere Beschreibungen der einzelnen Rumpfschalen-Lamelliermethoden folgen in den nächsten Kapiteln.

Die Positivmodell-Methode

Ein *Positivmodell, Kern oder Block* ist eine Form, über der Furnierstreifen zur gewünschten Rumpfform lamelliert werden. Sie stellt eine solide Basis dar, die den Druck aufnehmen kann, der zum Zusammenhalten der Lagen bis zum Aushärten des Epoxidharzes notwendig ist. Dieser Anpressdruck wird normalerweise mit Tackerklammern erreicht, aber Techniken, die auf Vakuum zum Sichern der Furnierschichten zurückgreifen, werden immer populärer, insbesondere in der Serienproduktion.

Wenn man einen relativ stabilen Block baut, hat man eine feste Basis zum Weiterbauen. Der größte Vorteil hiervon ist die Reproduzierbarkeit: man kann jede Anzahl von identischen Schalen von einem einzigen Block herstellen. Der wesentliche Nachteil der Blockmethode ist aber, daß sich Zeit und Material nur schwer rechnen lassen, wenn nur ein Rumpf gebaut werden soll. Je größer ein Boot wird, umso größer wird dieses Problem, falls man nicht in der Lage ist, andere Leute zu finden, die die Form leihen oder kaufen wollen, um ihren eigenen Rumpf zu bauen. Ein weiterer Nachteil dieser Methode, insbesondere für größere Boote, ist, daß man keinen praktikablen Weg zum vorherigen Einbau innerer Spanten, Schotten oder Stringer finden kann. Man kann alle diese strukturellen Elemente erst einbauen, nachdem die Schale vom Block genommen worden ist.

Im allgemeinen empfehlen wir die Blockmethode für Boote unter 25 Fuß = 7,5m, deren Außenhaut dick genug ist, mit wenigen inneren Versteifungen auszukommen. Kleinere Rümpfe sind im allgemeinen ideal für eine Schalenbauweise. Kleine Dinghies z.B. werden mit der Blockmethode am leichtesten. Diese Bauweise wird oft bei Jollen und kleinen Hochseeyachten angewandt. Obwohl die Blockmethode theoretisch bei Rümpfen jeder Größe möglich wäre – der größte von uns ausgeführte Block war für ein 30 Fuß = 9m Boot –, gibt es schnellere, effektivere und kosteneffizientere Bauweisen für größere Yachten.

Die Leistenbauweise

Wegen der Kosten für einen Block und der notwendigen Arbeit, innere Elemente einzubauen, ist die Blockmethode für größere Yachten nur schwer zu rechtfertigen. Um diese Zusatzkosten zu umgehen, haben wir darüber nachgedacht, den Kern als Teil des Rumpfes zu verwenden. So entstand unsere *Leistenbauweise.* Die meisten Blöcke sind sowieso mit Leisten beplankt; mit dieser Technik wird die Leistenbeplankung aber zum Teil der Bootsstruktur und bleibt nicht als Teil des Blocks zurück. Die Leistenbauweise ist effektiv und wirtschaftlich für größere Einzelbauten.

Rümpfe sind schon seit einigen Jahren mit an den Kanten verleimten Leisten beplankt worden. Leistenbau-und GFK-Yachten entstanden ungefähr zur gleichen Zeit. Größere mit Leisten gebaute Boote verlassen sich auf eine aufwendige innere Rahmenstruktur für Querfestigkeit und Steifigkeit. Die Alternative zur inneren Stützung, eine Beschichtung der Beplankung mit Glasfasergewebe wie beim *Stripperkanu,* bietet keine ausreichende Festigkeit für größere Rümpfe. Wir haben jedoch entdeckt daß wir außerordentlich steife und feste Schalen bauen können, wenn wir über die zunächst aus Leisten gebaute Rumpfschale diagonale Furnierschichten lamellieren. Die äußeren Lagen eliminieren die für größere Boote erforderliche Rahmenkonstruktion.

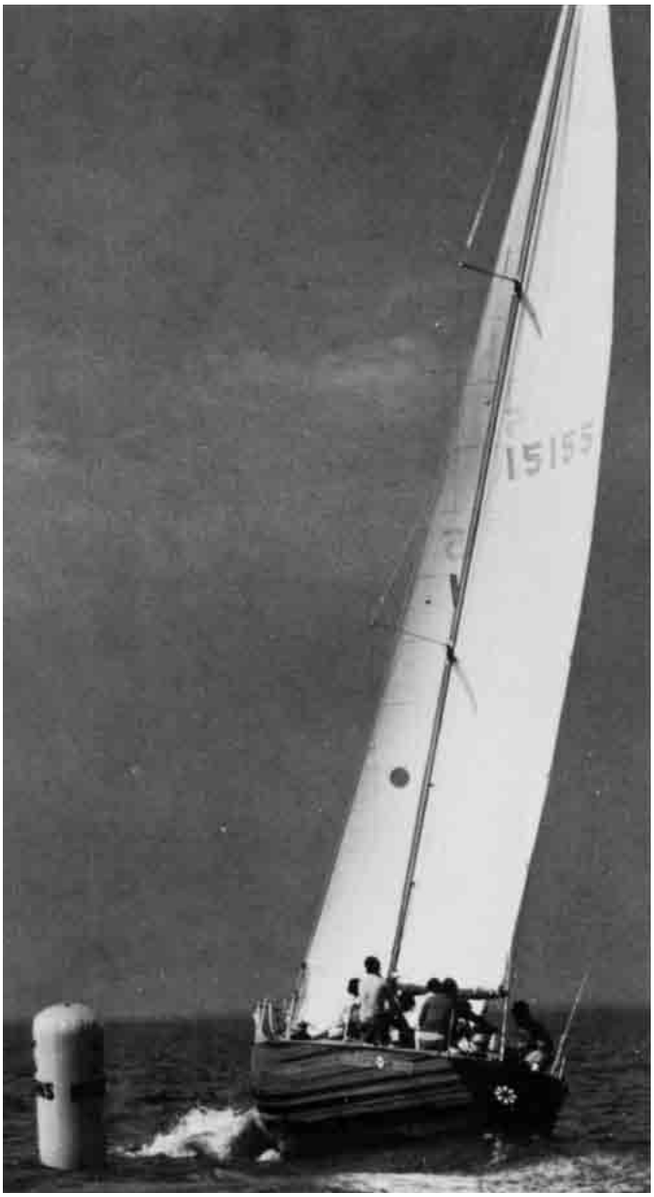


Bild 17.4 – Der 12,80 m (42 Fuß) Zweitonner GOLDEN DAZY, mit der Leistenbauweise gebaut.

Bei der Leistenbauweise ist es von Vorteil, viele der wichtigsten Schotts schon bei Beginn aufzustellen und den Rumpf darauf zu bauen. Dies spart später viel Zeit, weil Schotten normalerweise viel einfacher vor der Beplankung einzubauen, als nachträglich sauber in den fertigen Rumpf einzupassen sind. Bei einem großen One-Off-Projekt, bei dem die innere Struktur schon in der Helling enthalten ist, kann die Arbeitsersparnis erheblich sein. Zu viele innere Teile könnten jedoch beim Schlichten der Innenseite der Beplankung im Weg sein.

Leistenbau-Kaskos besitzen dicke, lasttragende, hölzerne Außenhäute. Sie sind ziemlich leicht, mit einem hohen Festigkeits-und Steifigkeits-Gewichts-Verhältnis. Als Bonus bietet die Dicke der Leistenbau-Außenhaut exzellente Schall- und Wärmeisolierung, und sie kann außerdem Schwitzwasserprobleme verringern. Praktische Erwägungen schränken die Anwendung dieser Methode im Allgemeinen auf Boote von ungefähr 9 m aufwärts ein; einige schwerere, kürzere hochseetüchtige Fahrtenschiffe sind ebenfalls mit dieser Technik gebaut worden.

Die Außenhautdicke ist in der Tat eine wesentliche Erwägung bei der erfolgreichen Anwendung der Leistenbauweise. Der Kern muß steif genug zur Aufnahme der zu lamellierenden Furnierlagen sein, so daß normalerweise eine Leistenbeplankung von mindestens 12,5 mm bei größeren Booten verwendet würde. Bei Unterstützung durch eine minimale innere Rahmenkonstruktion raten wir dazu, dies mit nicht weniger als drei Lagen je 3,2 mm zu beschichten. Der resultierende 22 mm starke Rumpf würde ungefähr 9,4 kg/m^2 wiegen, und das wird für kleinere Boote zu schwer sein. Während die Kanten dickerer Beplankung nit Dübeln oder Nägeln verbunden werden, kann dünnere Beplankung beim Verleimen getackert werden. Welche Methode auch verwendet wird, sie ist nicht besonders schnell im Vergleich zu anderen Lamelliertechniken.

Die Längsspantbauweise

Die *Längsspantbauweise* ist wahrscheinlich die populärste der drei Lamelliermethoden. Wie die Leistenbauweise benötigt sie keinen Block. Innere Bauteile können schon in der Helling aufgestellt werden. Der größte Vorteil der Längsspantbauweise ist wohl, daß man sie einfach bei jeder Bootsgröße anwenden kann, vom 3 m-Prahm bis zur 20 m-Hochseeyacht.

Ein Grund für die weite Verbreitung sowohl bei Amateuren als auch bei professionellen Bootsbauern ist, daß sie der schnellste, am wenigsten arbeitsintensive Weg zu einem lamellierten Einzelrumpf ist. Diese Methode hat außerdem das Potential für das beste Festigkeits- und Steifigkeits-Gewichts-Verhältnis, insbesondere bei geringen Außenhautkrümmungen, wie bei Katamaran- oder Trimaranrümpfen.

Die Längsspantenbauweise hat auch einige Nachteile. Der auffälligste ist, daß man mit einer eigentlich unzureichenden Form anfangen muß. Man hat erst eine gute, feste Oberfläche der Form, nachdem man schon zwei Lagen Furnier oder Sperrholz aufgebracht hat. Da die Stringer in 12- bis 20 cm-Abständen gesetzt sind, ist ein gewisses Maß an Sorgfalt, Fertigkeit und Arbeit notwendig, um eine

17.5 – Der 9,80 m (32 Fuß) Halbtonner HOT FLASH wurde mit der Längsspantbauweise gebaut. Dieser Konstruktionstyp ist bei Konstrukteuren und Bootsbauem von Rennyachten sehr beliebt.

gleichmäßige Oberfläche beim Lamellieren der ersten beiden Schichten zu erhalten. Für den Anfänger hat diese Methode deshalb das größte Fehlerpotential von den drei Typen des Baus lamellierter Rümpfe.

Ein weiterer Nachteil der Längsspantenbauweise ist die entstehende zerklüftete Innenseite. Sowohl die Blockmethoden-, als auch Leistenbaurümpfe haben glatte, ordentliche Wände, aber Stringer und Querspanten, die Teile der Längsspantenbauweise sind, nehmen wertvollen Innenraum weg und sind daher nur schwer sauber zu halten. Diese Art des Innenraums ist vielleicht auch nicht so angenehm fürs Auge.

Die Idee von lastaufnehmenden Außenhäuten, unterstützt durch Längsspantensysteme, wurde zuerst in den 30er Jahren vom Flugzeugbau aufgegriffen, als Konstrukteure erkannten, daß sie die Festigkeits-Gewichts-Verhältnisse wesentlich durch Ersetzen der textilen Bespannung durch hölzerne Platten verbessern konnten. Lastaufnehmende Außenhäute sind in der Entwicklung der modernen Flugzeugkonstruktion sehr bedeutend geworden. Der Bootsbau entlieh das Konzept und benutzte es mit wenigen Modifizierungen für den Bau leichter Rumpf- und Deckssysteme. Boote brauchen immerhin dickere Außenhäute, sind aber nicht so im Gewicht begrenzt.

Längsspanten-Außenhäute sind viel dünner als Block- oder Leistenbau-Außenhäute. Während die anderen Methoden Schalen mit total selbsttragenden Außenhäuten ergeben, sind Längsspantkaskos nur teilweise selbsttragende Schalen, die Kräfte nur dann aufnehmen können, wenn sie in der richtigen Position gehalten, und von stützendem Rahmenwerk gehalten werden.

Eine selbsttragende Schale ist in Bereichen mit großen Krümmungen am effektivsten – wie eine Eierschalen-Form zum Beispiel. Eine von Längsspanten gestützte, teilweise selbsttragende Außenhaut ist bei Oberflächen am effektivsten, die entweder eben oder nur in eine Richtung gekrümmt sind. Die meisten erfolgreichen Mehrrumpfboote mit ihren langen, flachen Linien sind nach dem Längsspanten-Konzept gebaut worden, da dies die festesten und steifsten Rümpfe bei gegebenem Gewicht ergibt. Da Einrumpfboote im Allgemeinen erhebliche Krümmungen aufweisen, werden sie mit jeder der drei Lamelliermethoden erfolgreich gebaut,

Bild 17.6 – Blick vorwärts in den Hauptrumpf der 18,30 m (60 Fuß) Proa SLINGSHOT. Die Längsspantbauweise läßt sich leicht bei ziemlich hochentwickelten Booten jeder Größe anwenden.

und die Entscheidung über die Bauweise hängt vom jeweiligen Projekt ab.

Holz zum Lamellieren

Die genauen Größen von Schnittholz, Furnier und Sperrholz, die man beim Rumpflamellieren verwendet, hängen von der für den Rumpf gewählten Bauweise ab. In den folgenden Kapiteln besprechen wir die spezifischen, für die jeweilige Lamelliermethode notwendigen Baumaterialien. Die allgemeinen Betrachtungen hier betreffen alle drei Methoden. Wenn Sie Ihr Holz aussuchen, beachten Sie bitte auch die Hinweise über den Holzkauf aus Kapitel 6.

Das ganze zum Lamellieren verwendete Holz muß leicht über die stärkste Krümmung des Rumpfes zu biegen sein. So kann möglicherweise Holz bis zu 15,5 mm Dicke bei sehr großen Yachten verwendet werden, bei kleineren Projekten aber kann vielleicht nur 1,7 mm-Furnier dem kleinen Radius gerecht werden. Wenn man ausschließlich auf Takkerklammern zum Andrücken zurückgreift, ist 3,1 mm gewöhnlich die kleinste praktikable Lamellendicke. 1,5 mm dicke Furniere benötigen für einen gleichmäßigen Anpreßdruck zusätzliche Tackerklammern pro Fläche und daher auch mehr Arbeit für das Tackern und Entfernen der Klammern. Ganz dünne Furniere können manchmal von den Klammern zerstört werden.

Die Stärke der Rumpfwölbung bestimmt auch die Breite des Holzzuschnitts. Ein kurzes, völliges Boot benötigt schmalere Streifen, während bei einer langen, schlanken Yacht auch sehr breite Streifen brauchbar sind, wenn sie zur Verfügung stehen. Der schmalste Zuschnitt, den wir verwendet haben, lag bei 100 mm Breite. Es ist ungewöhnlich, geringere Breiten als 150 mm benutzen zu müssen. Am gebräuchlichsten sind im Bootsbau wohl 200 mm breite Furniere.

Die Länge des Zuschnittholzes ist unkritisch, wobei man Zeit sparen kann, wenn das Holz so lang ist, daß es diagonal über eine Hälfte des Rumpfes reicht. Das Schäften von kürzeren Stükken reduziert den Verschnitt und sorgt für richtige Längen, aber auch für mehr Arbeit. Man kann in bestimmten Situationen das Furnier auch stumpf stoßen, eine Technik, die in einem folgenden Kapitel diskutiert wird.

Das Lamellierholz kann man auch selbst zuschneiden, aber dabei ergeben sich schnell Probleme. Es ist selbst mit einer großen Tischkreissäge schwierig, Holz mit einer Dicke von mehr als 100 mm aufzusägen, und man braucht, wie noch gezeigt wird, weit mehr Zeit zum Anpassen von 100 mm breiten, als von 200 mm breiten Streifen. Ein weiteres Problem ist der Verschnitt: wenn man 3 mm dünne Furniere sägt, verliert man mindestens 50 Prozent und vielleicht werden sogar 70 Prozent des Holzes Sägemehl. Wenn man dickere Planken verwenden kann, 6 mm oder mehr, könnte Ihr Sägewerk in der Lage sein, große Stücke auf einer speziellen Maschine aufzusägen. Diese relativ wirkungsvolle Ausrüstung verliert nur 30 bis 40 Prozent Holz.

Wir kaufen gewöhnlich geschnittenes (gemessertes bzw. geschältes) Furnier und haben erkannt, daß es preiswerter als unser selbstgesägtes ist. Schneidende Produktionsmethoden ergeben fast gar keinen Abfall, sind schnell und effizient. Kommerziell geschnittene Furniere sind bis zu 5,1 m Länge und 450 mm Breite erhältlich, obwohl die üblicheren Größen 3,6 m lang und 100-150 mm breit sind. Es ist schwierig, dickere als 3 mm Furniere zu schälen, ohne Risse oder Zerfaserungen zu erhalten. Eine 3 mm-Furniergrenze ist bei kleineren Booten aber kein Nachteil. Längere Rümpfe, über 15 m oder mehr, können dickeres Holz nutzen, wenn es erhältlich ist. In diesen Fällen ist der Gebrauch von dünnerem Furnier mit einer Zunahme der Arbeitszeit für zusätzliche Lamellierungen verbunden, und das könnte ein wesentlicher Faktor sein.

Handelsübliches Sperrholz wird häufig beim Lamellieren verwendet. Es gibt viele Bereiche, wie noch in folgenden Kapiteln beschrieben wird, wo es eine gute, praktikable Lösung ist. Sperrholz ist bereits lamelliert, so daß die Abmessungen stabil sind. Dünnes Sperrholz splittert nicht so leicht, wie Furnier, wenn es über enge Radien gebogen wird, und es ist einfach vorzubehandeln, besonders bei Innenseiten von Längsspantrümpfen. Sperrholzstreifen haben aber auch einige Nachteile. Sie sind teuer und erreichen nicht die potentielle Festigkeit von Furnier. Mindestens ein Drittel der Fasern läuft im rechten Winkel zu den übrigen Fasern, so daß einige Kompromisse bei der Anordnung auf dem Rumpf notwendig werden können.

Welche der drei Methoden auoh benutzt wird, die Außenhaut eines lamellierten Rumpfes ist stark genug, die meisten Belastungen zu überleben. Da sie aus dauerfestem Holz gemacht ist, wird sie ihre Festigkeit über einen langen Zeitraum behalten. Die nächsten Kapitel handeln detalliert von den drei Lamelliermethoden. Im Anhang C sind einige Vergleichsdaten von erfolgreich mit Holz und WEST SYSTEM Epoxidharz lamellierten Rümpfen aufgelistet. Diese können als Anhaltswerte für die jeweilige Rumpf-Lamellier-Methode dienen und möglicherweise als Vergleich zu Ihrem Projekt brauchbar sein.

Kapitel 18

Die Block-Methode: Der Bau des Blocks

Die Stärken und Schwächen der Block-Methode für das Verleimen von Rumpfschalen resultieren aus dem Block selbst. Der Bau der Form benötigt viel Zeit, die Materialien können teuer sein. Im Rumpf verbleibende Teile, außer Kiel und Vorsteven, können nicht in der Helling integriert werden, so daß diese Technik nur für kleinere, dicke Rumpfschalen mit wenig innerem Rahmenwerk geeignet ist. Wenn eine Schale fertiggestellt ist, hat man die Wahl, den Block zu zersägen oder jahrelang zu lagern. Auf der anderen Seite ist die Block-Methode unschlagbar, wenn mehr als ein Boot gebaut werden soll. Wenn eine Anzahl von Rümpfen über derselben Form gebaut werden soll, machen sich die Kosten allein durch die Arbeitseinsparung mehr als bezahlt.

Typen von Blöcken

Ein Block ist eine Form, über der Furniere oder Sperrholz lamelliert werden. Er muß die Linien des fertigen Schiffes exakt wiedergeben und stark genug sein, daß sich diese Form auch während des ganzen Bauvorgangs nicht verändert. Solange sie diese Bedingungen erfüllt, können die einzelnen Konstruktionsdetails einer Bauform entsprechend den Anforderungen dieses Projekts geändert werden.

Blöcke können geschlossene Oberflächen haben oder so etwas wie ein offenes Lattengestell sein. Die Art des benötigten Blocks hängt von mehreren Faktoren ab. Blöcke, die für viele Rumpfschalen benötigt werden, oder bei denen man sich auf exakte Toleranzen verlassen will, müssen solider gebaut werden, als für einen einzelnen Rumpf. In vielen Fällen bestimmt die Art des aufgebrachten Drucks, die zum Fixieren der Lamellenschichten bis zum Aushärten des Harzes benötigt wird, die Bauweise des Blocks.

Wir haben viele Variationen von Blöcken benutzt. Als wir Tornado-Katamarane bauten, war die Produktion von vielen Booten zu exakt derselben Spezifikation unser Ziel. Wir verwendeten dabei die Vakuumsack-Technik, um die Schichten zu fixieren, so daß unser Block luftdicht sein mußte. Dazu haben wir einen *geschlossenen* oder *beplankten* Block gebaut, der wie bei einem Boot aus seitlich verklebten Leisten bestand. Diese Form war bereits steif und gut strakend. Damit dieser Kern aber auch sicher durch die Werkstatt bewegt werden konnte, ohne seine Form zu verlieren, lamellierten wir eine Furnierschicht auf die vorhandene Oberfläche. Nur wenige Blöcke sind soweit durchdacht und entwickelt.

Ein einfacher *Latten-* oder *gestringerter* Block befindet sich am anderen Ende des Spektrums. Bei diesem Typ stellen wir Spanten auf und befestigen dann Leisten, lange Stringer aus Holz, an dem Gestell. Die Lücken zwischen den Leisten können auch größer als die Leisten selbst sein, so daß nur 40 bis 50 Prozent der Oberfläche aus massivem Holz bestehen. Da Tackerklammern nur dort angebracht werden können, wo die Leisten sind, markieren wir die erste und zweite Furnierlage,bevor wir sie aufbringen. Dies bedeutet zusätzlichen Zeitaufwand; weil der Leisten-Block aber schneller als ein beplankter zu bauen ist, überwiegen seine Vorteile wohl beim Bau eines einzelnen Rumpfes.

Irgendwo zwischen diesen bei den Extremen liegt der Block, der für die meisten Rümpfe angemessen ist. Wenn lange Tackerklammern benutzt werden, um die Furniere sauber anliegen zu lassen, ist die Qualität eines Blocks am wichtigsten, während die ersten beiden Lagen verleimt werden. Da die Klammern bei einem geschlossenen Block überall gesetzt werden können, bietet er in diesem Stadium einen gewissen Vorteil. Eine nicht so aufwendige Art, einen festen und steifen beplankten Block zu bauen, ist es, zwei Lagen von 3 mm-Furnier auf einen offenen gestringerten Kern zu lamellieren.

Montage des Blocks

Der erste Schritt in der Herstellung eines Blocks ist das Aufstellen der Spanten und Mallen, auf denen man die längsverlaufenden Leisten anbringt. Die Konstruktions-und Aufstellprinzipien der Mallspanten sind in Kapitel 15 beschrieben. Die beim Bau der Mallen verwendeten Materialien sollen strukturell angemessen und preiswert sein, sie sollen dick genug sein, damit das Beplanken

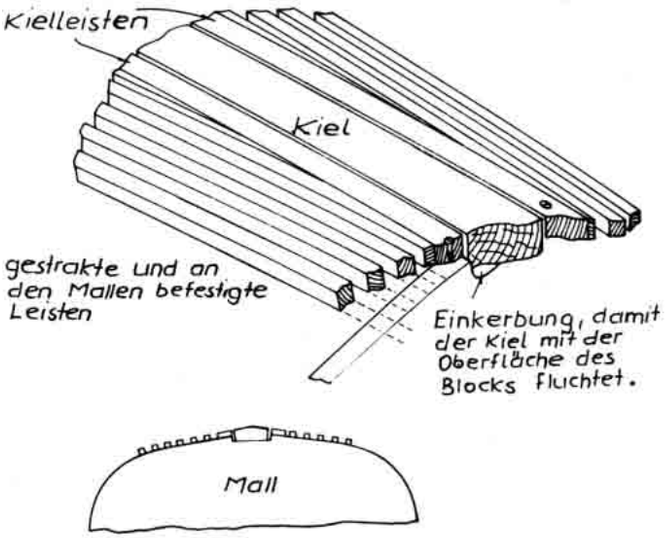

Kielleisten
Kiel
gestrakte und an den Mallen befestigte Leisten
Einkerbung, damit der Kiel mit der Oberfläche des Blocks fluchtet.
Mall

Bild 18.1 – Block mit eingelassenem Kiel.

einfacher ist. Beim Bau der Mallen darf man nicht vergessen, außer der Außenhautdicke des Rumpfes auch die Dicke der Beplankung des Blocks abzurechnen. Wenn der Rumpf beispielsweise 12 mm und die Leisten 20 mm dick werden sollen, muß man eine Gesamtstärke von 32 mm von den Aufmaßen abziehen, um Mallen der richtigen Größe zu erhalten. Bei dieser ungewöhnlich großen Reduktion muß man sehr sorgfältig vorgehen (siehe Kapitel 13 wegen genauerer Darstellung).

Sobald man die Mallspanten richtig aufgestellt und ausgestrakt hat, kann man mit dem Beplanken des Blocks beginnen. Obwohl es nicht immer notwendig ist, werden viele lamellierte Rümpfe gebaut, in deren Block bereits Aussparungen für Kiel und Vorsteven vorgesehen sind, so daß diese nach dem Entformen in der Rumpfschale verbleiben. Es ist relativ einfach, einen später im Rumpf verbleibenden Kiel oder Vorsteven in den Block einzulassen und die Furniere während des Lamellierens dauerhaft mit ihm zu verbinden. Wenn der Kiel z. B. 100 mm breit werden soll, läßt man entlang der Mittschiffslinie eine Lücke, die etwas über diesem Maß ist und ca. 3 mm an den Seiten zwischen Kiel und Block. Wir lassen eine feste Leiste, die wir Kielleiste nennen, an beiden Seiten neben dem Kiel laufen. Dies wird dann zum Verbindungspunkt für die übrigen Leisten des Blocks, die den Kiel schräg schneiden würden. Wenn der Kiel dicker als die Leisten wird, müssen die Mallspanten um das erforderliche Maß ausgeschnitten werden, so daß der Kiel mit den Leisten glatt strakt (siehe Bild 2).

Der Einbau eines verbleibenden Stevens ist schon etwas komplizierter, weil man einen *inneren* Steven konstruieren muß, auf dem der verbleibende Steven während des Lamellierens ruhen soll. Man braucht diesen inneren Steven als Befestigungspunkt für die Latten, die am Vorsteven ankommen. Dieser innere Steven muß bis zum Kielbereich führen, wo er sich mit den Kielleisten schneidet, damit die Rumpfleisten entweder mit den Kielleisten oder dem inneren Steven verbunden werden können. Keine Leiste darf im Kiel- oder Stevenbereich enden, ohne mit einem dieser festen Punkte verbunden zu sein. Ein schwieriger Abschnitt dieses Einbaus ist die exakte Bestimmung von Lage, Form und Größe des inneren Stevens. Um diese Informationen zu erhalten, muß man zurück zum Schnürboden gehen und sich die Maße vom äußeren Stevenbereich aus erarbeiten. Die Lage des verbleibenden Stevens selbst wird aufgrund der Einflüsse von Beplankung und der nach vorne abschließenden Stevenkappe ein wenig zurück liegen. Daher muß man von der äußeren Form des Bootes die Stevenkappe und den verbleibenden Steven abziehen, bevor man die Außenmaße der Blockstevenanordnung bestimmen kann (siehe Bild 2).

Selbst bei Blöcken, in die kein im Rumpf verbleibender Steven eingesetzt werden soll, muß man den eigentlichen Steven des Kerns weiter zurücksetzen, als einen verbleibenden Steven, aber diese Maße kann man leicht vom Schnürboden erhalten. Man benötigt Platz für den Steveneinbau, sowohl bei einer dauerhaft mit dem Block, als auch mit dem Rumpf verbundenen Version. Benutzt man z.B. 20 mm Vierkant-Leisten, die am Bug auf einen Blocksteven treffen, der auf einen genauen Punkt zuläuft, dann projizieren alleine die Leisten eine Frontfläche von 40 mm. Daher muß man sowieso Material zugeben, ungeachtet, ob es ein bleibendes Teil des Rumpfes oder des Blocks wird. Dies ist eine praktische Überlegung, die man im Blick auf die Bestimmung der Blocksteven-Position im Kopf haben sollte, während man auf dem Schnürboden ist. Man sollte auch bedenken, daß ein im Rumpf verbleibender Steven so groß sein sollte, daß er ausreichend Fläche für eine gute Klebeverbindung bietet. Daher beeinflußt die Größe oder Tiefe des im Rumpf verbleibenden Stevens die Lage des Blockstevens.

Beplanken des Blocks

Die Beplankung muß sich sowohl bei massiven als auch gestringerten Blöcken in gleichmäßigen, strakenden Kurven biegen, wenn sie auf die Mallen

gelegt wird. Nüsse und schwerwiegende Maserungsausläufe lassen das Holz ungleichmäßig biegen oder sogar brechen, so daß man am besten hochwertiges Holz für die Stringer verwendet. Wenn man den Verlust aufgrund der Unregelmäßigkeiten im Holz minderer Qualität – bedenkt, ist qualitativ höherwertiges Holz nur unwesentlich teurer. Normalerweise verwenden wir makelloses Redwood, Cedar oder Whitepine für die Beplankung, aber viele andere Sorten funktionieren ebenfalls gut.

Sobald man die Schnürbodenarbeit beendet hat, aber bevor man die Mallspanten aufstellt, muß man die Stärke der Leisten festlegen. Dieses Maß muß man genauso von den Mallspanten abziehen, wie man die Außenhautdicke abgezogen hat. Das meiste handelsübliche Holz ist bereits auf 20 mm geho-

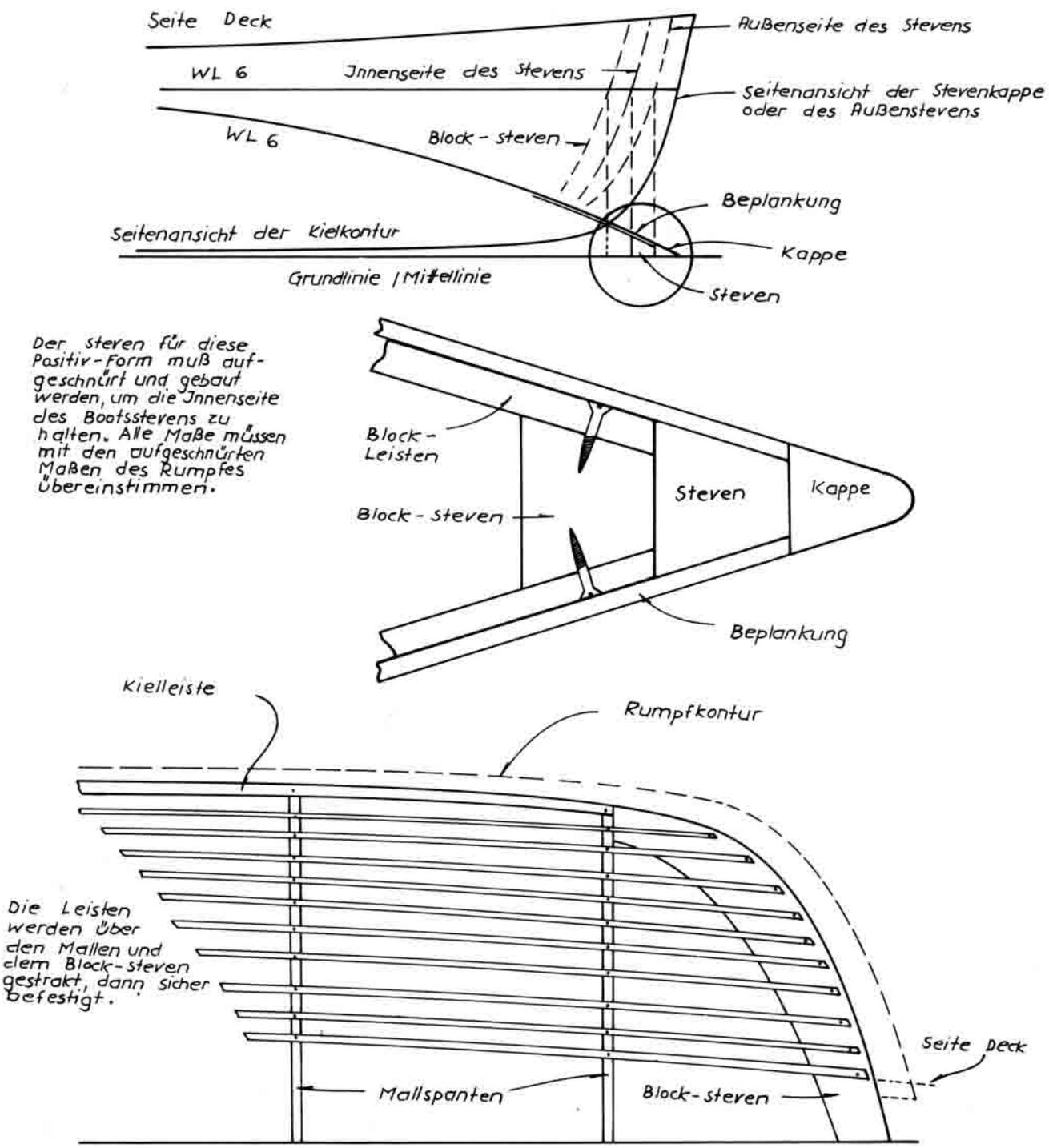


Bild 18.2 – Abwicklung und Aufbau der Block-Vorsteven-Montage.

belt; also benutzen wir normalerweise 20x20 mm-Leisten. Wenn sie sich nicht leicht über alle Kurven biegen lassen, lamellieren wir die Stringer aus dünneren Stücken zusammen oder verschieben die Leisten, bis sie gut liegen. Obwohl die Leisten mit Stumpfstößen verbunden werden können, bevorzugen wir geschäftete Verbindungen, da sie nur unwesentlich mehr Arbeit kosten, aber keine harten Punkte ergeben.

Wir fangen mit der Beplankung des Blocks an, indem wir die schwierigsten Kurven feststellen. Einige IOR-Racer zum Beispiel haben ungewöhnlich gekrümmte Formen, um in bestimmte Regeln zu passen. Da man sie möglicherweise nicht mehr richtig beachten kann, wenn man unter einem falschen Winkel anfängt, sparen wir viel Zeit und Ärger, indem wir unseren ersten Stringer so laufen lassen, daß er alle Kurven am besten beachtet. Dies ist die *Hauptleiste,* nach der wir die folgenden Leisten ausrichten.

Schreitet man am Rumpf nach unten und oben fort, so müssen die Leisten möglicherweise neu ausgerichtet werden, um andere Formen zu berücksichtigen. Wenn die Beplankung vorwiegend in Längsrichtung verläuft, wird dieses Problem durch den Unterschied zwischen dem Umfang des Rumpfes am breiten Mittelschiff und den schmaleren Enden vergrößert. In der Mitte des Rumpfes ist viel mehr Beplankung erforderlich, als an den Enden.

Eine einfache Lösung hierfür ist es, in der Mitte des Rumpfes größere Abstände zwischen den Leisten zu lassen als an den Enden des Rumpfes. Leichte Variationen der Abstände bringen auch geringe Änderungen der Laufrichtung mit sich. Dies erlaubt auch schrittweisen Richtungswechsel und läßt die Beplankung über schwierigere Kurven biegen. Hier sollte man vorsichtig sein, und die Sache nicht übertreiben, denn zuviel Platz zwischen den Leisten reduziert die Fläche, die man möglicherweise zum Heften braucht, und könnte die Steifigkeit des Blocks gefährden.

Eine Form zu versteifen, wenn sie zu flexibel erscheint, ist gar nicht schwierig. Wenn die Lücken zu groß werden, können kurze Stringer zwischen längeren eingefügt werden, wie Bild 4 zeigt. Um zusätzliche Unterstützung der Leisten zwischen den Mallspanten zu erhalten, klebt und heftet man 50 mm breite Streifen von dünnem Sperrholz an die Innenseite der Form. Wenn man besonders dünne Leisten gewählt hat und daher zusätzliche Verstärkung braucht, können zwei oder mehrere dieser Streifen gleichmäßig zwischen den Mallspanten verteilt werden. Ein letzter und wirkungsvoller Weg, einen Block zu versteifen, ist das Abdecken des Blocks mit ein oder zwei Lagen Furnier, um ihn so in einen geschlossenen Block zu verwandeln.

Befestigung von Leisten an den Mallspanten

Wir befestigen die Leisten an den Mallspanten hauptsächlich mit einer Klammerpistole und schmalen Klammern bis 31 mm Länge. Tackerpistolen sind schnell und einfach zu handhaben; druckluftbetriebene Modelle belasten die Form weit weniger, als das Einschlagen von Nägeln. Die Tackerpistole versenkt die Klammern automatisch ca. 3 mm unter die Oberfläche, so daß sie beim Schlichten nicht im Weg sind. Dieses System befestigt Beplankung bis 20 mm erfolgreich.

Nägel sind das zweitbeste Befestigungsmittel für die Planken. Wenn Nägel verwendet werden, sollte man die Planken vorbohren, damit sich das Holz nicht spaltet und möglichst wenig hämmern zu müssen. Man benutzt am besten Finish-Nägel, die man leicht versenken kann, damit sie beim Straken nicht stören.

Man kann auch Schrauben verwenden, um die Leisten an den Mallen zu befestigen, insbesondere bei scharfen Krümmungen, wo zusätzliche Haltekraft erforderlich ist. Dazu bohrt man immer ein Pilotloch mit dem richtigen Bohrer und versenkt die Schraube. Selbstschneidende Schrauben sind bei Spanplatten-Mallen die beste Wahl. Manchmal kleben oder nageln wir Stücke von Abfallholz auf beide Seiten entlang der Kanten der Spanplatten-Spanten und tackern die Leisten dann darauf, anstatt auf die Spanplatten. Diese Technik ist meistens schneller als Bohren und Schrauben.

Wenn eine Form sehr haltbar oder oft verschoben werden soll, kleben wir die Leisten mit einem Gemisch aus dichtem Füller und WEST SYSTEM

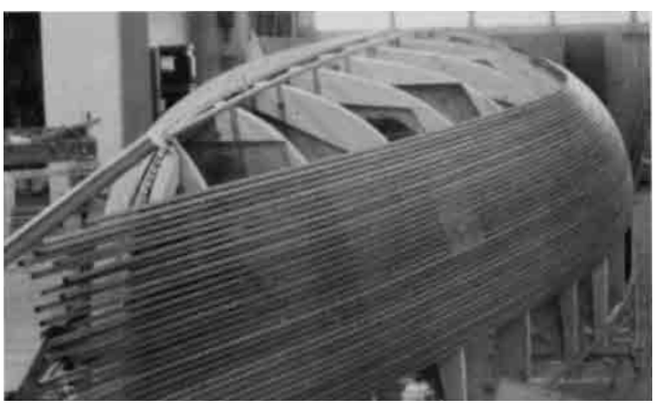


Bild 18.3 -Die Leisten für diesen 7,90 m (26 Fuß) Block laufen parallel zur Seite-Deck-Linie und werden entlang der Mittellinie des Kiels gestoßen.

Bild 18.4 – Leistenblock für einen IOR Halbtonner. Beacbten Sie die Verwendung kürzerer Leisten zum Auffüllen der Lükken zwiscben den Leisten voller Länge. Der gezeigte Skeg wurde zunäcbst aus Furnier lamelliert und dann an dem Block provisorisch befestigt. Das Furnier, mit dem der Rumpf beplankt wurde, wurde mit dem Skeg verklebt. Dies wurde zur Ersparnis von zusätzlicben Kosten und Zeit für das Formen solch extremer Kurven während der allgemeinen Lamellierung vorgenommen.

Epoxidharz an. Manchmal machen wir dies, nachdem die Leisten befestigt sind, indem wir Hohlkehlen auf beiden Seiten der Verbindung zwischen Leisten und Mallspanten legen. Wenn wir Furniere über eine Form legen, um einen massiven Kern zu erhalten, verkleben wir deren Kanten miteinander und erhalten so eine steife, feste Schalenkonstruktion.

Falls man eine Form baut, bei der man den Anpressdruck mit Hilfe der Vakuumsack-Methode aufbringen will, ist die wichtigste Forderung, daß die Form luftdicht wird. Man muß diese Dichtigkeit aufrechthalten, selbst, wenn schon unzählige Male Heftklammern getackert und wieder herausgezogen worden sind. Man braucht nur wenige Klammern, um die Furniere in ihrer Position zu fixieren, bis der Vakuumsack angebracht werden kann. Das heißt, daß das Blockmaterial angemessen dimensioniert sein muß. Unsere haben wir aus an den Kanten verklebten Leisten mit einer zusätzlichen, diagonal verleimten, 3 mm starken Furnierlage gebaut. Dies ergab stabile Blöcke, die auch nach dem Bau von vielen Einheiten noch gut waren. Zum Arbeiten mit dem Vakuum sack sollte man am Rand des Blocks, unterhalb der eigentlichen Seite-Deck-Linie einen Befestigungsstreifen vorsehen, der etwa 50 mm breit ist. Dieser Kragen dient der Abdichtung des Vakuumsacks selbst und bildet eine Randzone, wo der Streifen die eigentliche Blockoberfläche trifft, so daß Schläuche zum Absaugen der Luft verlegt werden können. Wenn irgendwelche Einbausteven oder -kiele in diese Art von Blöcken integriert werden sollen,ist besonders darauf zu achten, daß keine Luftlecks an diesen Stellen entstehen.

Welche Form man auch baut, die Strakarbeiten müssen vor dem Lamellieren abgeschlossen sein. Alle ungewollten Buckel und Senken tendieren dazu, sich beim Lamellieren zu vervielfachen. Man ist deshalb weit besser dran, wenn man sie vom Block entfernt, als später zu versuchen, notwendiges Material von der Rumpfschale abzutragen oder zusätzliches Gewicht in Form von Spachtelmasse aufzubringen. Wenden Sie die gleichen Techniken zum Straken der Blockoberfläche an, wie sie in Kapitel 19 zum Straken von Rümpfen beschrieben sind.

Fertigstellung des Blocks

Wenn man das letzte Schlichten beendet hat, ist es Zeit, verschiedenen anderen Punkten Aufmerksamkeit zu schenken. Die Maße der Seite-Deck-Linie sind immer noch an den Mallspanten und müssen schließlich auf den Rumpf übertragen werden. Der einfachste Weg ist, eine Leiste direkt entlang der Deckslinien-Markierungen an den Spanten laufen zu lassen. Dies ist eine gut strakende akkurate Kante, mit deren Hilfe man später die Rumpfschale anzeichnen kann, bevor sie vom Block genommen wird. Da der Lamellierdruck normalerweise auch noch ein wenig über die tatsächliche Deckslinie hinaus erforderlich ist, fügt man Leisten außerhalb dieser Linie zu. Üblicherweise liegt dies im Bereich von 25 bis 50 mm. Man läßt 6 bis 12 mm Platz zwischen dem Deckslinien-Stringer und seinem Nachbarn, um für das Markieren des Rumpfes Raum zu schaffen.

Bei einer anderen Methode, die Deckslinie zu markieren, bohrt man an jedem Mallspant-Deckslinien-Messpunkt kleine Markierungslöcher durch

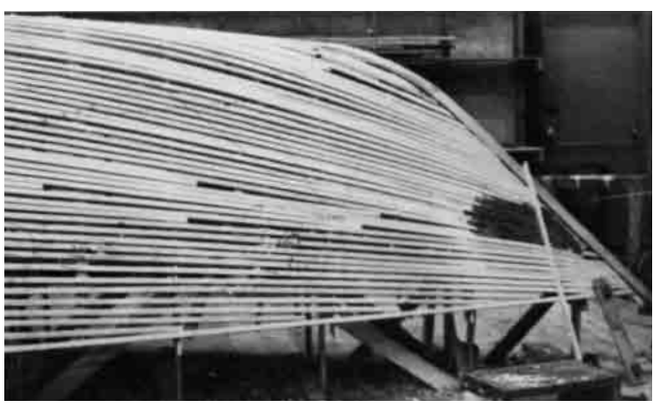


Bild 18.5 – Harz/Zuscblagstoff-Miscbung als Spacbtelmasse in der Nähe des Stevens des Blocks aufgebracbt.

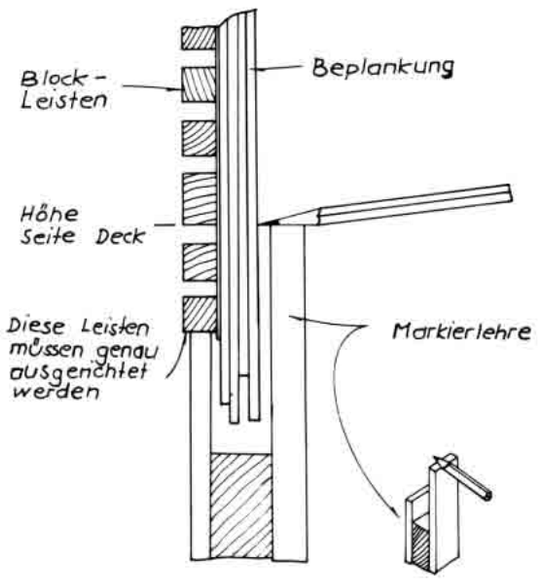


Bild 18.6 – Markierungs-Lehre und Leistenanordnung zum Übertragen der Seite-Deck-Linie vom Block auf die Rumpfschale.

den Block, bevor der Rumpf lamelliert wird. Dies läßt ein wenig zu wünschen übrig, wenn man exakte Toleranzen einhalten will, aber man kann die Löcher auf der Form verbinden und mit einer Straklatte prüfen, ob sie eine vernünftig strakende Linie ergeben. Wenn die Pilotlöcher des Blocks genau genug sind, bohrt man durch sie in den fertiggestellten Rumpf, um die Maße zu übertragen, und verbindet sie miteinander mit einer Straklatte, nachdem der Rumpf vom Block genommen.

Wenn man ein Kiel-Vorsteven-Element in dem Block integrieren will, muß es lamelliert (falls nötig) und zurechtgeschnitten werden. Man behandelt Kiel und Vorsteven möglicherweise an den Stellen vor, die im Inneren der Rumpfschale liegen werden, womit man später einige Zeit sparen kann. Es ist üblich, den Kiel-Vorsteven-Komplex direkt auf dem Block zu schäften und miteinander zu verbinden. Nachdem sie fest in ihrer Position gesichert sind, werden sie endgültig geschlichtet. Man fixiert die Position, indem man das Element von der Innenseite her festschraubt, normalerweise durch eine am Mallspant befestigte Verstärkungsleiste hindurch. Diese Schrauben sollen leicht zugänglich sein, damit man sie leicht wieder lösen kann, nachdem der Rumpf fertig ist und abgehoben werden kann. Mit Hilfe der in Kapitel 16 beschriebenen Techniken wird der Kiel/Vorsteven-Komplex abschließend an den Block angepaßt.

Bei einigen Typen lamellierter Rümpfe ist es auch möglich, einen im Rumpf verbleibenden Spiegel im Block zu integrieren. Dies ist aber nur möglich, wenn der Spiegel nicht nach innen geneigt ist oder der Rumpf keine einfallenden Spantlinien hat. Beides würde dafür sorgen, daß der Rumpf nicht vom Block genommen werden kann. Es ist ziemlich einfach, einen festen Spiegel zu integrieren, indem man ihn provisorisch an dem Spiegel des Blocks, mit dem die Leisten ja bereits verbunden sind, befestigt. Der Spiegel kann vorher lamelliert worden sein oder einfach aus einer Sperrholzplatte bestehen. Man kann einige zusätzliche Verstärkungsleisten aufgeleimt haben, um dadurch unproblematisch eine größere Klebefläche zu erhalten. Sobald man den Spiegel positioniert hat, muß er mit der übrigen Oberfläche des Blocks strakend angepaßt werden, genau wie beim Kiel/VorstevenKomplex. Wenn kein bleibender Spiegel eingesetzt werden soll, ist es üblich, den Spiegel des Blocks um ein paar Zentimeter nach achtern überstehen zu lassen, damit man später ein wenig Überlänge zum Anpassen hat.

Bevor man mit jeglichem Verleimen über einen Kern beginnt, müssen einige Vorkehrungen getroffen werden, um den fertig lamellierten Rumpf sicher vom Block nehmen zu können. Damit die Lamellierungen nicht am Block festkleben, decken wir den Block generell mit einer Lage, normalerweise 0,1 bis 0,15 mm dicken, Polyäthylen-Folie ab; je Rumpf eine neue Folie. Bei einem Block ohne integrierten Kiel, Vorsteven oder Spiegel ist das Abdecken mit der Folie eine einfache Sache; aber bei einem Block mit Einlässen muß man das Plastik um diese strukturellen Elemente herumführen, damit eine dauerhafte Verbindung zwischen den Lamellierungen und diesen Einbauelementen erreicht wird. Normalerweise kann man die Folie in die schmalen Spalte, die zwischen dem Block und den Elementen existieren, stecken. Wenn dies etwas schwierig ist, kann man die Halteschrauben der Elemente ein wenig lösen, so daß man die Folie grade unter oder neben sie stecken kann. Dies stellt die notwendige Barriere her, damit die Lamellierungen nicht an den falschen Punkten festkleben. Wenn man diesen Schritt be endet hat, kann man anfangen, einen lamellierten Rumpf mit der Block-Methode zu bauen.

Kapitel 19

Die Block-Methode zum Lamellieren von Rümpfen

Wenn der Block geschlichtet ist, kann mit dem Beplanken begonnen werden. Die Pläne spezifizieren die Anzahl der Lagen von Furnier oder Sperrholz, die für den Rumpf erforderlich sind. Obwohl diese Zahl von Projekt zu Projekt unterschiedlich sein kann, ändern sich die Lamelliertechniken nicht. Ein Rumpf kann aus geschältem Furnier, Sperrholz oder selbstgesägtem Lagerholz gemacht werden. In diesem Kapitel benutzen wir der Einfachheit halber die Bezeichnung *Furnier* für alle diese Materialien.

Das allgemeine Verfahren, mit der Block-Methode Rümpfe zu lamellieren, ist unkompliziert. Wenn das Holz, das man benutzt, keine einzige gerade Kante hat, muß man eine schneiden. Dann legt man jedes Stück nebeneinander auf den Block, trimmt es so, daß es in einem bestimmten Winkel dicht an seinem Nachbarn anliegt, trägt den Kleber auf und tackert es an, um es in der Position zu fixieren, bis das Epoxidharz ausgehärtet ist.

Die erste Lage eines lamellierten Rumpfes ist immer die empfindlichste. Man klebt die Streifen an ihren Kanten zusammen und tackert sie direkt an den Block. Dann entfernt man sorgfältig überflüssigen Kleber und die Heftklammern, benutzt angedicktes WEST SYSTEM Epoxidharz , um die zweite Lage Holz in einem bestimmten Winkel zur ersten Lage aufzulamellieren und tackert durch die erste Lage durch auf den Block. So lamelliert man weiter -folgende Lagen werden jedoch nur noch mit den anderen Lagen, aber nicht mehr mit dem Block zusammengeheftet -bis die Rumpfschale so dick wie erwünscht ist. Daraufhin wird sie geglättet, gefinished und vom Block genommen.

Vorbereiten des Holzes

Man kann einige unterschiedliche Holzsorten zum Lamellieren eines Rumpfes verwenden. In den meisten Fällen nehmen Bootsbauer industriell geschältes, ca. 3 mm starkes Furnier, aber man kann auch Sperrholz oder selbst geschnittenes Furnier verwenden. Im ersten Schritt versichert man sich, daß jedes Stück eine gerade, verläßliche Kante hat.

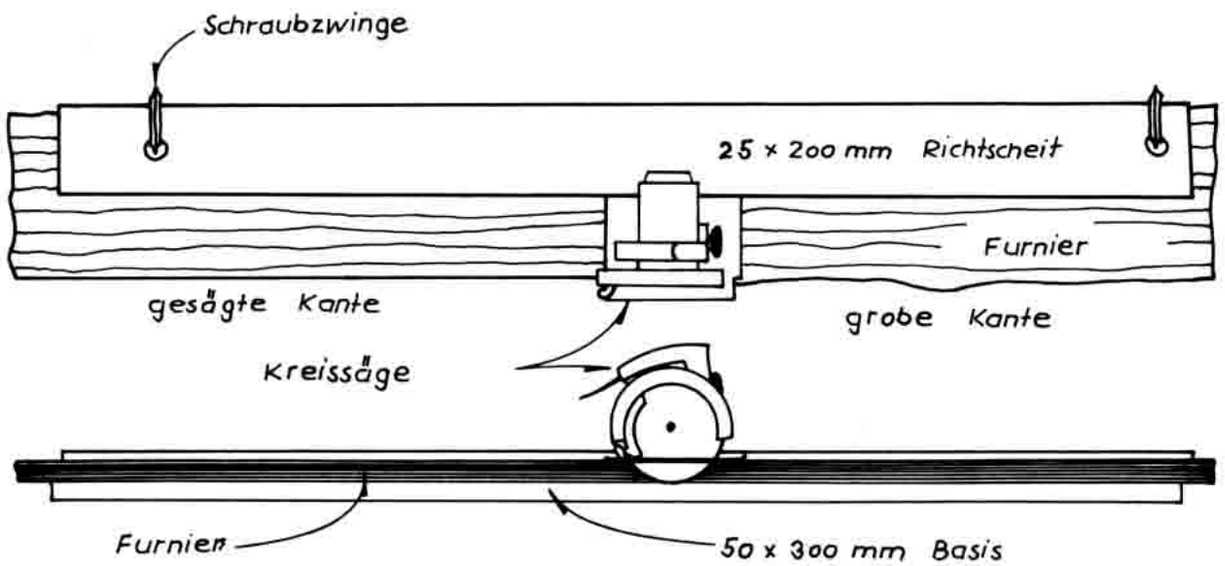


Bild 19.1 – Methode für das Schneiden einer geraden Fumierkante.

Bild 19.2 – Die Furniere der Zwischenlagen dieses lamellierten Rumpfes sind unregelmäßig gestoßen. Dies reduziert den Verschnitt und vereinfacht das Verlegen, ohne an Festigkeit im Rumpf einzubüßen. Beachten Sie die längs gelegte letzte Furnierschicht am unteren linken Bildrand.

Wenn wir später in diesem Kapitel das Anpassen besprechen, wird der Grund dafür deutlich.

Sperrholz hat eine genügend gerade Kante, so daß eine weitere Bearbeitung nicht nötig ist. Furniere hingegen werden mit rauh gesägten Kanten geliefert, die begradigt werden müssen. Im Laufe der Jahre haben wir einen schnellen und einfachen Weg entwickelt, eine ganze Anzahl von Furnieren bis 5,4 m Länge gleichzeitig zu bearbeiten. Man legt vier bis acht Furniere auf eine Schneidevorrichtung auf drei Sägeböcken, die aus einer 50x300 mm-Planke besteht, so daß die rohen Kanten leicht innerhalb der Plankenkante sind. Man baut sich ein Lineal aus einem sauberen 20x300 mm-Brett, das sorgfältig abgerichtet ist, damit es insgesamt gerade ist. Dies legt man so über die Furniere, daß es als Anschlag für die Handkreissäge dient. Hier versucht man, möglichst wenig Verschnitt zu haben, aber das Lineal muß genügend weit von den Kanten zurückgesetzt werden, damit auch alle Furniere diese gerade Kante erhalten. Die Furniere werden zwischen das Lineal und die Planke gelegt, und die ganze Vorrichtung von großen Zwingen an den Enden gehalten. Man zieht die Zwingen an, bis sich die Furniere nicht mehr bewegen können.

Das Blatt muß tief genug gestellt werden, damit alle Furniere geschnitten werden. Ein leichter Schnitt in die Planke ist zulässig. Dann führt man die Säge an dem Stapel entlang, wie in Bild 1 gezeigt wird. Wenn die Stücke eine akkurate Kante haben, schneidet man parallel dazu auf der anderen Seite ebenfalls eine gerade Kante. Am einfachsten geht dies auf einer Tischkreissäge.

Einige sehr lange Furniere sind deutlich in einer Richtung verjüngt. Sie zu begradigen, ergäbe unakzeptable Verluste. Insbesondere, da man sie für mittlere Lagen verwenden kann, indem man abwechselnd die verjüngten Enden umdreht, damit sich der Winkel nicht ändert. Wenn wir verjüngte Furniere erhalten, benutzen wir das Begradigungsgestell auf beiden, anstatt nur auf einer Seite.

Zwei Faktoren bestimmen die Breite des Lamelliermaterials: die Stärke zusammengesetzter Krümmungen des Rumpfes und wie ein Boot aussehen soll. Man kann viel breitere Streifen an den Bootsenden verwenden, wo die Krümmungen nicht so

stark sind, wie in mittleren Bereichen. Die meisten Leute bevorzugen gleichmäßige Furnierbreiten bei klar lackierten inneren und äußeren Oberflächen, aber das ist nicht unbedingt notwendig. Dünne Streifen oder, weniger üblich, breite Streifen, können sehr angenehm fürs Auge sein, wenn sie so arrangiert werden, daß ihre Farben kontrastieren.

Die meisten handelsüblichen Furniere sind nach dem Begradigen zwischen 125 und 300 mm breit. Mit dem Aufschneiden in schmalere Streifen sollte man warten, bis man genügend experimentiert hat und weiß, welche Breite sich am besten biegen läßt und auf dem Rumpf am besten aussieht. Es wäre eine Schande, 300 mm breite Streifen in drei 100 mm breite Streifen zu zersägen, wenn zwei 150 mm breite Streifen sich bei weniger Arbeit genauso gut biegen würden. Man wird aber sehr schnell herausfinden, wann die Furniere zu breit sind. Wenn es so ist, lassen sich die Kanten immer schwerer niederhalten, denn sie sträuben sich sofort gegen Biegen in mehrere Richtungen.

Die Furniere werden entsprechend ihrer Qualität und Farbe gestapelt. Die feinsten Stücke sammelt man und verwendet sie nur für die äußersten La-

Bild 19.3 – Auf diesem Leistenblock einer Halbtonner Rennyacht sieht man Markierungen für die Anordnung verschiedener Fumierlagen.

gen, insbesondere, wenn man eine Naturlackierung vorgesehen hat. Weiter sortiert man diesen Stapel in dunkel, mittel und hell getönte Stücke. Einige Hölzer, wie z. B. Douglas Fir und Sitka Spruce zeigen nur ganz geringe Farbabweichungen, wohingegen andere Sorten, einschließlich Western Red

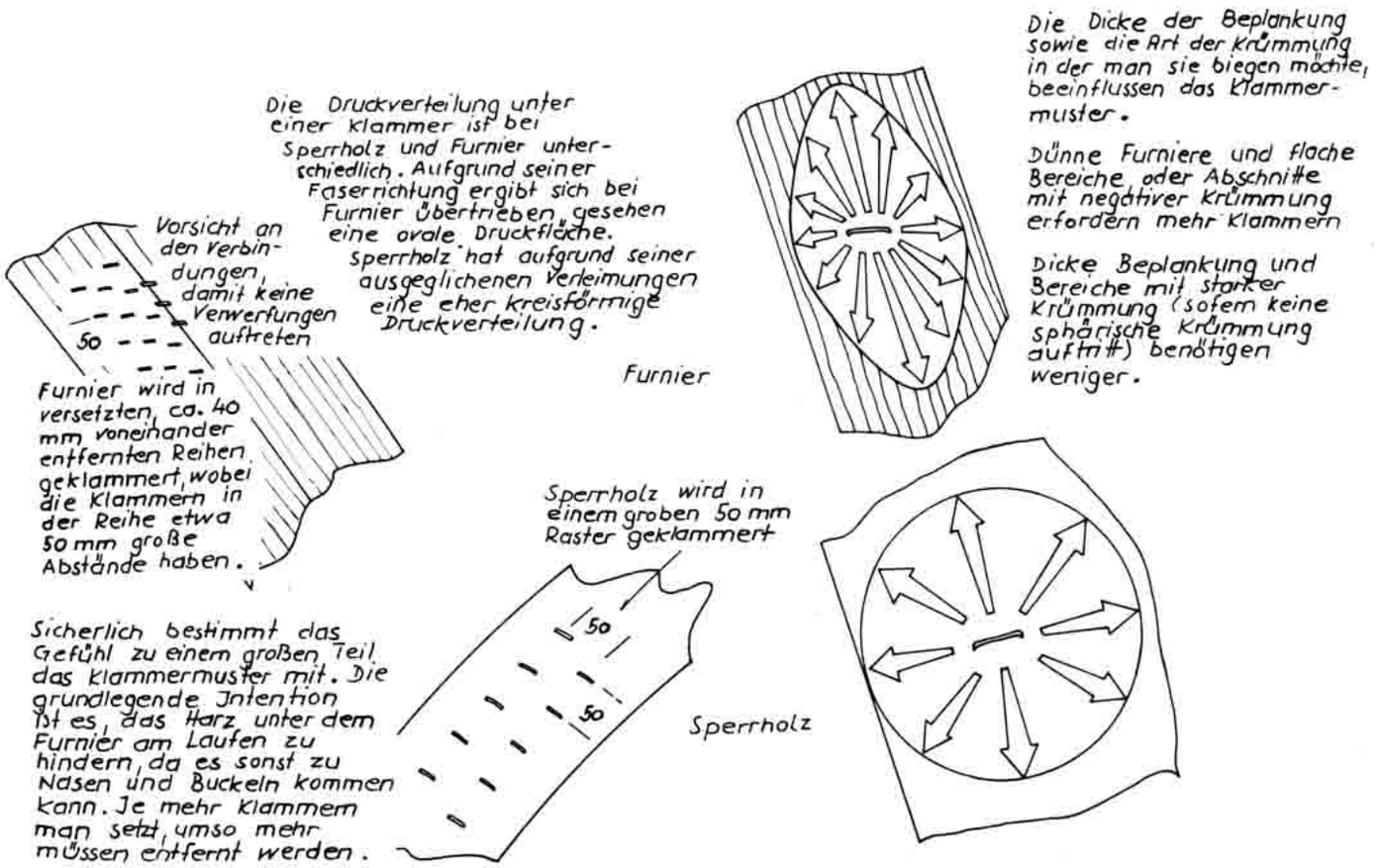

Die Druckverteilung unter einer Klammer ist bei Sperrholz und Furnier unterschiedlich. Aufgrund seiner Faserrichtung ergibt sich bei Furnier übertrieben gesehen eine ovale Druckfläche. Sperrholz hat aufgrund seiner ausgeglichenen Verleimungen eine eher kreisförmige Druckverteilung.
Vorsicht an den Verbindungen, damit keine Verwerfungen auftreten
50
Furnier wird in versetzten, ca. 40 mm voneinander entfernten Reihen geklammert, wobei die Klammern in der Reihe etwa 50 mm große Abstände haben.
Furnier
Die Dicke der Beplankung sowie die Art der Krümmung in der man sie biegen möchte, beeinflussen das Klammermuster.
Dünne Furniere und flache Bereiche oder Abschnitte mit negativer Krümmung erfordern mehr Klammern
Dicke Beplankung und Bereiche mit starker Krümmung (sofern keine sphärische Krümmung auftritt) benötigen weniger.
Sperrholz wird in einem groben 50 mm Raster geklammert
50
50
Sperrholz
Sicherlich bestimmt das Gefühl zu einem großen Teil das Klammermuster mit. Die grundlegende Intention ist es, das Harz unter dem Furnier am Laufen zu hindern, da es sonst zu Nasen und Buckeln kommen kann. Je mehr Klammern man setzt, umso mehr müssen entfernt werden.

Bild 19.4 – Klammermuster.

Cedar und einige Mahagoni-Arten eine große Abweichrate aufweisen. Astreiche Furniere können außer in der ersten oder letzten Lage überall verwendet werden.

In den meisten Fällen enden 25% des erworbenen Materials als Verschnitt und nur 75% werden tatsächlich Teil des Bootes. Der meiste Abfall entsteht beim Ablängen, da kurze Abschnitte fast unbrauchbar sind. Daher ist es sinnvoll, den Verschnitt zu reduzieren, indem man nur die für das Projekt wirtschaftlichsten Furnierlängen bestellt. Dabei wird man oft feststellen, daß der Lieferant die Bestellung nicht ausführen kann. Er hat wahrscheinlich keine Kontrolle über die Längen der Furniere, die er bezieht.

Der umgekehrte Ansatz – die Entscheidungen aufgrund der lieferbaren Ware zu treffen – ist normalerweise wesentlich erfolgreicher. Ein typischer Bootsrumpf erfordert eine Reihe von Furnierlängen, von ganz kurz bis ganz lang. Diese Maße sind zum großen Teil vom Winkel abhängig, in dem lamelliert wird. Bis man den effektivsten Nutzen aus dem vorhandenen Furnier findet, arbeitet man mit dem gegebenen Winkel und dem gegebenen Lagerbestand.

Der Verschnitt läßt sich zum großen Teil durch stumpfes Verbinden oder Schäften von kürzeren Stücken verringern. In dicken Lamellierungen sind Stumpfstöße voll akzeptabel, solange die Stöße überall gleichmäßig verteilt sind. Holz ist in Zugrichtung um ein Vielfaches stärker als in Druckrichtung, und ein gut geklebter Stumpfstoß kann 100% aller Druckkräfte übertragen. Die erhöhte Zugfestigkeit von Holz läßt die Anwendung von Stoßverbindungen mit guter Sicherheit in einem Rumpf mit vielen Lamellierungen zu. Wenn ein Rumpf nur zwei oder drei Furnierlagen hat, empfehlen wir die Anwendungen von 8: 1 Schäftungen anstelle von Stumpfstößen. Am besten benutzt man den SCHÄFTER-Aufsatz für die Handkreissäge und die Schäftungstechnik, wie sie in Kapitel 10 beschrieben ist, um die Schräge zu schneiden. Man montiert und klebt die Verbindung am besten direkt auf dem Block. Um akkurate Passungen, sowohl der Stumpfstöße als auch der Schäftungen zu erhalten, muß man die Enden der Furniere genau rechtwinklig zu den geraden Kanten schneiden.

Setzen und Entfernen der Klammem

Der Erfolg einer Lamellierung ist eng mit der Erfahrung mit einem Klammergerät verbunden. Klammern werden in jeder Schicht benötigt, um die Furniere in ihrer Position zu halten, bis das Epoxidharz ausgehärtet ist, so daß man eine große Menge davon schießen und entfernen muß. Am besten erlernt man einige leichte Techniken, bevor man an den Rumpf geht.

Da gibt es einige Dinge, die man beim Tackern von Furnier beachten sollte: die Orientierung der Klammern in Bezug auf die Holzmaserung, die durch jede Klammer aufgebrachte Druckverteilung und ob und wie die Klammern entfernt werden sollen. Beim Arbeiten übt man Druck aus, den die Klammer aufrecht hält.

Um die maximale Haltekraft zu erzielen, sollten die Klammern stets so gesetzt werden, daß die Beinchen der Klammern immer parallel zur Maserung sind. Das reduziert auch den Schaden, den die Klammern am Holz anrichten können, so daß es auch Füllarbeiten in der letzten Lage einsparen kann. Klammerlöcher sind parallel zur Maserung nicht so leicht zu erkennen wie quer dazu.

Wenn eine Klammer in ein Furnier gesetzt wird, bildet sie eine ovale Druckfläche. Wenn sie aber in ein Stück Sperrholz gesetzt wird, ist die Druckfläche eher rund. Diese Muster enstehen aufgrund der Richtung der Holzfasern: Sperrholz ist bidirektional, so daß der Druck gleichmäßiger verteilt wird, als beim unidirektionalen Furnier. Die Formen der Druckflächen bestimmen die effektivsten Klammermuster bei der Lammellierung. Wir empfehlen die in Bild 4 gezeigten Klammermuster für ebene Rumpfbereiche. Man beachte, daß Sperrholz normalerweise weniger Klammern erfordert, als Furnier.

Die Plankungsdicke und die Krümmung, in der das Holz gebogen werden soll, beeinflussen die für eine gute Verklebung notwendige Anzahl von

Bild 19.5 – Um dünne Furniere in negativ oder konkav gebogenen Bereichen in der Nähe des Skegs anzudrücken, sind mehr Klammem nötig. Beachten Sie auch das einigermaßen regelmäßige Klammermuster auf der Beplankung im Vordergrund.

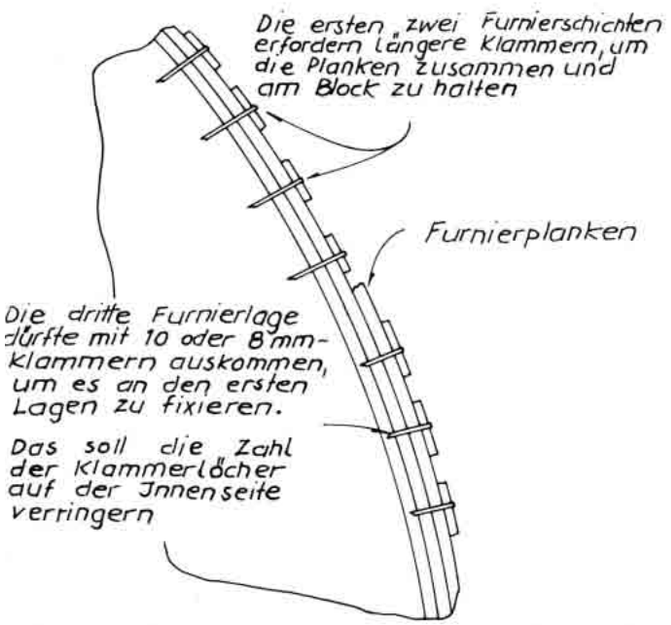

Die ersten zwei Furnierschichten erfordern längere Klammern, um die Planken zusammen und am Block zu halten
Furnierplanken
Die dritte Furnierlage dürfte mit 10 oder 8 mm-Klammern auskommen, um es an den ersten Lagen zu fixieren.
Das soll die Zahl der Klammerlöcher auf der Innenseite verringern

Bild 19.6 – Empfehlungen für die Länge der Klammem.

Klammern ebenfalls. Dünne Furniere erfordern mehr Klammern als dickere Beplankung. In der Mitte eines stark gekrümmten Rumpfes übt die natürliche Biegesteifigkeit eine Menge Druck aus, so daß man nur relativ wenig Klammern setzen muß. An den anderen Seiten dieser scharfen Krümmung tendiert das Holz jedoch zum Aufbiegen, und es werden mehr Klammern notwendig. Für besonders scharfe Krümmungen braucht man manchmal mehr Druck, als mit den verwendeten Klammern aufgebracht werden kann. In diesen Situationen verwendet man dann längere Klammern oder schlägt Nägel duch relativ schwere Holzstreifen, um den Druck zu verteilen.

Im allgemeinen fangen wir mit dem Klammermuster in der Mitte der Furnierstreifen an. Den Druck an dieser Stelle zuerst aufzubringen, hilft, überflüssiges Harz zu den Kanten zu quetschen. Wenn man zuerst die Kanten und dann die Mitte einer Lage (außer der ersten) antackert, kann man Ansammlungen von Epoxidharz in der Mitte einschließen, und das könnte zu Unebenheiten führen. Wenn man ungewöhnlich breite Stücke auflegt, ist es besonders wichtig, von der Mitte nach außen zu arbeiten, da dies der einzig praktikable Weg ist, überflüssiges Harz aus der Lamellierung zu treiben.

Wir verwenden normalerweise 10 oder 12 mm lange Klammern mit breiten Rücken, um die ersten beiden Lagen an dem Block zu befestigen. Diese Klammern müssen entfernt werden, bevor weiter lamelliert wird; sonst wird es besonders schwierig, den Rumpf vom Block zu heben. Oft entfernen wir auch die Klammern, mit denen das Furnier mit den Einbauelementen verbunden wurde, obwohl sie genauso gut drinbleiben könnten. Von der dritten Lage an benutzen wir kürzere Klammern, also von 10 oder 8 mm Länge bei drei Lagen je 3,1 mm Furnier, weil wir nicht mehr in den Block tackern. Da diese Klammern nicht die erste Lage durchstechen, und den Block nicht berühren, müssen sie nicht entfernt werden. Wir ziehen die Klammern aber trotzdem aus der letzten, äußeren Lage heraus.

Man kann Stahlklammern verwenden, die man aber wieder herausnehmen sollte. Will man die Klammern nicht herausziehen, sollte man welche aus Bronze oder einer anderen Legierung nehmen. Bronze-Klammern sind ein spezieller Artikel, der nicht so leicht zu bekommen ist, so daß man möglicherweise legierte oder galvanisieite Klammern nehmen muß. Wir haben Stahlklammern in unseren eigenen Booten gelassen, ohne Probleme zu bekommen, aber Stahl-Klammern können rosten, wenn der Rumpf oder der Schutzüberzug in der Nähe der Klammern beschädigt werden. Legierte Klammern sind zwar teurer als einfache Stahl-Klammern, aber diese Kosten werden durch das geringere Rostrisiko und die Arbeitseinsparung aufgrund der zurückgelassenen Klammern mehr als aufgewogen.

Bild 19.7 – Heften der Furnierplanken an die Rumpfstringer. Man beachte die Verwendung von Plastikstreifen unter den Klammerköpfen, um das Entfernen zu vereinfachen.

Wenn man legierte Klammern verwendet und sie nicht herauszieht, sollte man die Tackerpistole so einstellen, daß sie die Klammern leicht versenkt oder mit der Oberfläche fluchtend einschießt. Ansonsten können Schwierigkeiten entstehen, wenn man versucht, die Oberfläche beim Vorbereiten auf die nächste Furnierschicht grob zu straken oder zu schlichten. Wenn überstehende Klammern beim Lamellieren im Weg sind, sollten sie mit Maschinen beim groben Straken glatt geschliffen werden.

Beim Bauen wird man eine ganze Menge Klammern entfernen. Um diese Arbeit zu erleichtern, kann man durch einen Streifen irgendeines Materials tackern, dessen Ende man greifen kann, um die Klammern herauszureißen. Bei den meisten Anwendungen nehmen wir 12,5 mm breites, dickes Plastik-Befestigungsband. Dies schneiden wir in Längen von 0,9 bis 1,8 m, die wir unter unsere Hosengürtel stecken und bei Bedarf herausziehen; ungefähr vier bis sechs Streifen bei einem 150 mm breiten Furnier. Wenn unsere Furniere sehr lang sind, hat es sich als effektiver gezeigt, die Streifen auf halbe Furnierlänge zu schneiden und damit zu hantieren. Das Plastik ist so stabil, daß wir, selbst, wenn durchgetackert wurde, nur daran ziehen brauchen, um das Band selbst und viele Klammern loszubekommen. Wir entfernen die Klammern von unserem Band und benutzen es mehrfach.

Zeitweise, insbesondere bei den letzten Lagen der Lamellierung, funktionieren andere Materialien besser als das Plastikband. Hölzerne Mixstäbe, Verschnitt von Furnier, dünne Abrisse von gesägtem Holz oder dünnes Sperrholz können dann gute Tackerstreifen sein. Diese Stücke sind schwerer als Plastikstreifen und verteilen den Druck über eine größere Fläche, so daß möglicherweise auch weniger Klammern benötigt werden. Das größte Problem dabei ist, daß sie dazu neigen, am Furnier festzukleben, wenn Harz durch Öffnungen oder Risse gedrückt wird. Wenn das passiert, benutzt man am besten ein breites Stecheisen, um die Streifen vorsichtig abzuschälen.

Tackerstreifen aus Holz sind auch als Schutz vor Beschädigung des Furniers brauchbar. Bei der Verwendung von Plastikband hinterläßt jede Klammer leicht eine kleine Delle, die schwer zu schleifen ist und nach dem Anstrich farblich leicht abweicht. Beim Entfernen der Klammern kann das Furnier ebenfalls leicht beschädigt werden, wogegen Holzstreifen einen gewissen Schutz bieten.

Die erforderliche besondere Sorgfalt beim Entfernen der Klammern aus der ersten und der letzten Schicht, wird an anderer Stelle in diesem Kapitel behandelt. Die Klammern in allen Lagen können innerhalb von Stunden, nachdem sie angebracht worden sind, bereits wieder entfernt werden. Es ist viel einfacher, sie herauszuziehen, wenn das WEST SYSTEM Harz teilweise ausgehärtet ist, aber schon die Furniere alleine halten kann, so daß wir empfehlen, dies zum frühestmöglichen Zeitpunkt zu tun. Sobald das Epoxidharz vollkommen ausgehärtet ist, wird das Entfernen wesentlich schwieriger und man braucht viel mehr Zeit für diesen Job.

Abhängig von dem verwendeten Härter und der Arbeitstemperatur, kann man mit dem Entfernen der Klammern vier bis sieben Stunden nach dem Aufbringen der Furnierlage anfangen. Es ist einfach, den teilweise ausgehärteten Zustand zu bestimmen. Man untersucht Harz, das zwischen den Furnieren herausgedrückt worden ist. Wenn es allgemein bei Berührung hart ist, aber mit dem Fingernagel noch eingedrückt werden kann, ist es soweit. Hat man Befestigungsband verwendet, zieht man das Ende direkt hoch, vom Rumpf weg. Viele Klammern werden in dem Band bleiben. Im Rumpf verbliebene Klammern hängen oft nur mit einem Bein heraus. Diese kann man dann mit einer Zange herausziehen. Einige, insbesondere die, die in einem ungünstigen Winkel stehen, können den Streifen durchreißen und im Rumpf bleiben. Diese müssen dann von Hand gezogen werden. Aber da sie gewöhnlich durch das abgezogene Band etwas angehoben wurden, bildet sich meistens ein Spalt zwischen dem Rumpf und deren Köpfen, in den man ein „Klammer-Zieh-Werkzeug“ stecken kann.

Wo kein Spalt existiert, ist das Entfernen etwas schwieriger und ein gut konstruierter „Klammer-Entferner“ ist hier sehr nützlich. Obwohl es simple Prinzipien sind und endlos viele Variationen geben könnte, waren wir bis jetzt nur in der Lage, ein einziges, wirklich effektives Werkzeug zu finden: ein Modell, zum Polstern konstruiert und von der Stanley Tool Company hergestellt. Ein gutes Werkzeug sollte eine scharfe, gehärtete Stahlspitze haben, die leicht unter den Klammerkopf zu stecken ist; und es sollte eine Auflagefläche direkt dahinter haben, die breit genug ist, daß das Holz nicht beschädigt wird. Man sollte durch Wippen des Griffs die Klammer mit geringstem Aufwand herausziehen können. Die Abbildung 8 zeigt einige der Werkzeuge, die wir mit den oben genannten Konstruktionskriterien im Kopf, in unserer Werkstatt hergestellt haben.

Man kann auch einen großen Schraubenzieher modifizieren, indem das Ende zu einer scharfen, breiten Kante und auf einer Seite eine Krümmung geschliffen wird, so daß auf der gegenüber liegenden Seite eine Wippe entsteht. Wenn man nach dem Schleifen meint, der Hebel sei zu klein, kann man versuchen, den Schraubenzieher etwas zu ver-

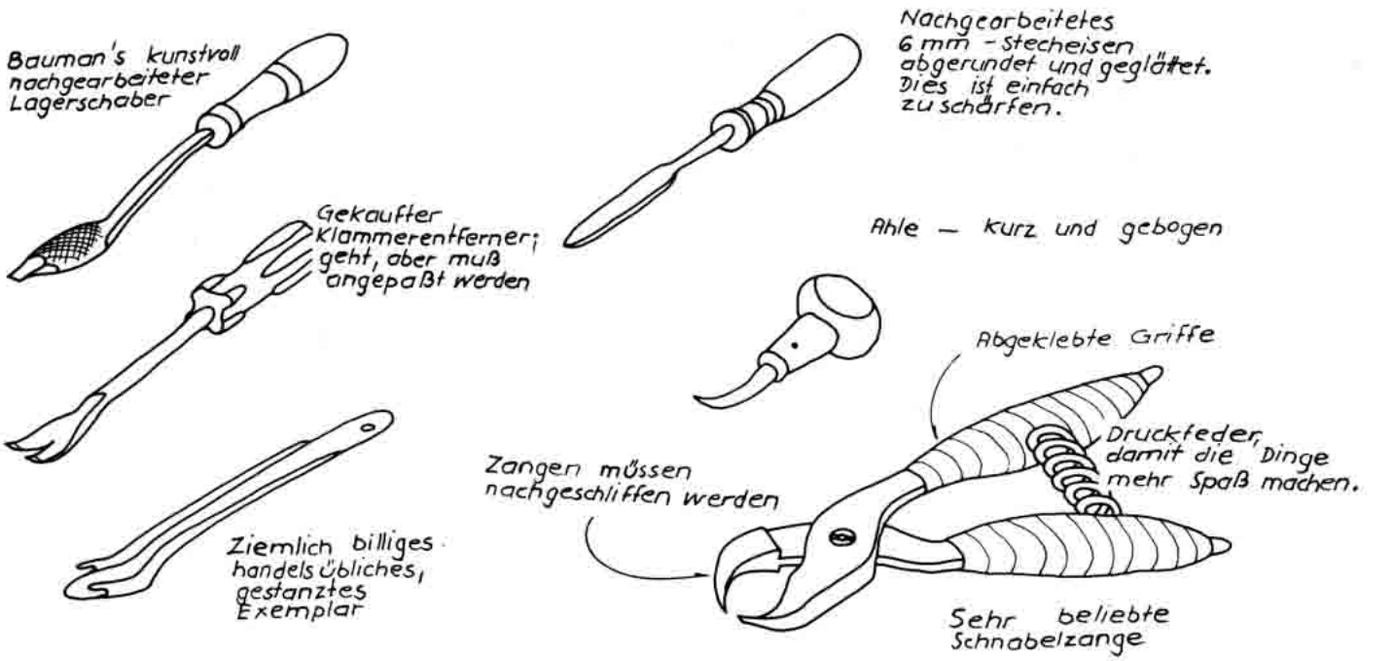

Bauman's kunstvoll nachgearbeiteter Lagerschaber
Nachgearbeitetes 6 mm - Stecheisen abgerundet und geglättet. Dies ist einfach zu schärfen.
Gekaufter Klammerentferner; geht, aber muß angepaßt werden
Ahle — kurz und gebogen
Abgeklebte Griffe
Druckfeder, damit die Dinge mehr Spaß machen.
Zangen müssen nachgeschliffen werden
Ziemlich billiges handelsübliches, gestanztes Exemplar
Sehr beliebte Schnabelzange

Bild 19.8 – Verschiedene Klammer-Entferner.

biegen. Bei einem gut gehärteten Schraubenzieher, der dies nicht erlaubt, kann man ein Stück Holz unterkleben oder angedicktes Epoxidharz auftragen, um den Hebelarm zu vergrößern. Der Klammerzieher wird häufig benutzt werden, und daher lohnt sich die Zeit, die man braucht, um ein gutes Werkzeug zu machen, das einfach und leicht funktioniert.

Aufbringen der ersten Furnierlage

Die erste Lage wird die Innenseite des Bootes werden, so daß man deren Furniere mit großer Sorgfalt auswählt, die feinste Maserung und die besten Farben, die man zur Verfügung hat, präsentiert. Wir lackieren die Innenseiten fast immer klar, weil es schön und zugleich praktisch ist, in dieser Weise vorzugehen.

Zunächst plaziert man das *Hauptjurnier* in der Mitte des Blocks. Startet man dort, kann man gleichzeitig in Richtung Bug und Heck arbeiten. Wenn es zwei Leute oder zwei Teams gibt, können sie in entgegengesetzter Richtung arbeiten. Da der Winkel in der Rumpfmitte ist, ist er beim Anbringen der Furniere leichter einzuhalten. Es gibt keine feste Regel für den Winkel der ersten Lage, aber 45 Grad sind für den Anfang gut.

Den Winkel der ersten Furnierlage markiert man auf der Polyäthylenfolie, die den Block abdeckt. Am besten stellt man seine verstellbare Schmiege auf den erforderlichen Winkel ein, setzt sie auf eine Wasserwaage und legt beide Werkzeuge am Block an. Dann bewegt man die Wasserwaage, bis die Blase mittig zwischen den Markierungen ist und überträgt den Winkel rechtwinklig auf den Block. Man macht eine Markierung, lang genug, die Lage des ersten Furniers anzuzeigen. Dann hält man das Furnier auf dem Block fest und zieht daran entlang einen Strich über den gesamten Block, der die genaue Lage des Furniers zeigt.

Bringt man das Hauptfurnier auf einem Block mit integriertem Kiel an, trägt man eine Epoxidharzmischung, angedickt mit Füllstoff größerer Dichte, auf Kiel und Furnier auf und klebt sie passend zusammen. Gut antackern mit Heftklammern. Auf dem Rest der Blockoberfläche fixiert man dieses Furnier mit so wenig Klammern wie nötig. Um 3,1 mm starkes Furnier zu befestigen, benutzen wir üblicherweise 10 mm lange Klammern mit breiten Rücken und pneumatische, elektrische oder Hand-Tackerpistolen. Sollten diese Klammern das Furnier nicht halten, versucht man es mit 12 mm langen Klammern.

Wenn das Hauptfurnier in seiner Position ist, paßt man auf beiden Seiten weitere Furniere an. Da der Rumpf zusammengesetzte Krümmungen hat, stoßen die Furniere nicht perfekt aneinander. Der nächste Schritt ist das Trimmen oder *Fügen* der Planken, so daß sie gut passen und ohne Verwerfungen flach aufliegen.

Bild 19.9 – Das Anpassen der ersten Lage Cedar-Fumier eines lamellierten Rumpfes. Die Planke ist in der Mitte gesichert. Dann werden die Enden justiert und an der Nachbarplanke angepaßt.

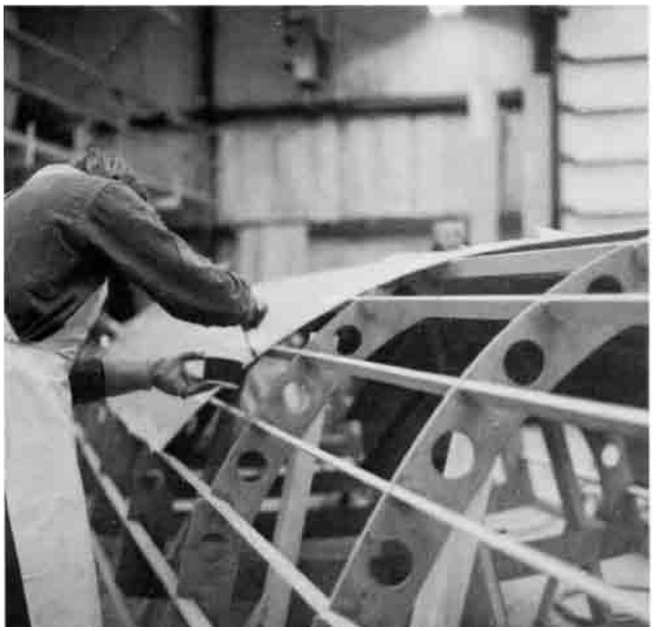


Bild 19.10 – Auftragen von Harz auf die Kante einer zuvor befestigten Planke.

Fügen der Furnierstreifen

Das Ziel des Fügens ist es, die Enden eines Furnierstreifens zu verjüngen. Das Maß der notwendigen Anpassung für jeden Rumpf ist direkt proportional zur Stärke der zusammengesetzten Krümmung. Die erste Lage trimmt und paßt man am besten von Hand an, wobei man daran denken sollte, daß seine Handwerkskunst zur Schau gestellt wird, jedesmal, wenn jemand auf die Innenseite des Rumpfes sieht.

Ein typisches Furnier verjüngt sich nach oben und unten mehr als in der Mitte. Die Kleinigkeit von 3 mm Holz muß an den Enden eines Furniers für einen langen, schmalen Rumpf entfernt werden, da sich dessen Beplankung in einer leichten Kurve zu den Enden hin gleichmäßig verjüngt. Ein völliger, rundlicher Rumpf, auf der anderen Seite, erfordert Beplankung, die sich zu den Enden stark verjüngt, so daß man vielleicht 25 mm oder mehr an den Enden der Furniere abschneiden muß.

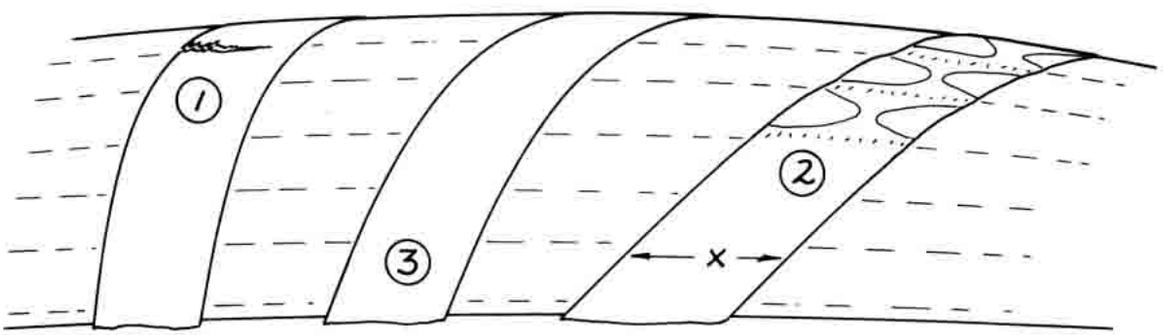


Bild 19.11 – Bewertungsrichtlinien für richtig liegende Planken: (1) Beplankuug, die zu senkrecht gelegt wird, zeigt keine zusammengesetzte Krümmung, könnte aber beim Biegen um die Bilge brechen. (2) Beplankung, die in einem zu flachen Winkel aufgelegt wird, biegt zwar leicht über die Bilge, kann aber komplizierte räumliche Krümmungen hervormfen, die sich in Buckeln zwischen den Klammerreihen entlang der Stringer zeigen. Diese zusammengesetzten Krümmungen sind abhängig von der Beziehung zwischen der Bieguug über die Bilge und der notwendigen Biegung entlang der X-Achse (Längsrichtung). (3) Durch Experimentieren mit der Biegung bei verschiedenen Winkeln kauu man einen Winkel fmden, bei dem die Furniere leicht um die Bilge biegen, ohne daß übermäßig zusammengesetzte Krümmungen entstehen.

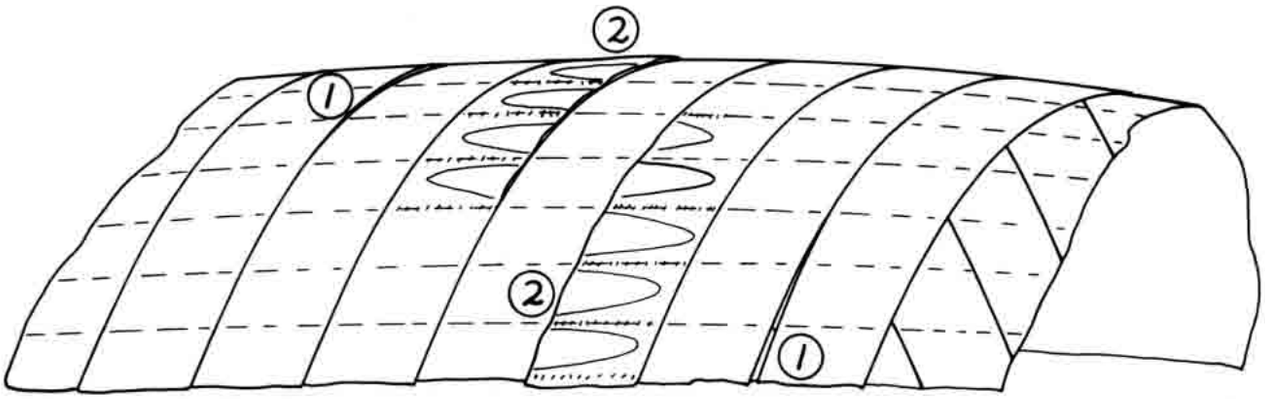


Bild 19.12 – Verkanten: Manchmal kann jemand versuchen, schlecht angepasste Planken gewaltsam auszulegen oder zu verkanten, wie in (1). Dieses Verkanten setzt das Sperrholz solchen Spannungen aus, daß es sich entlang der Kante verwindet, vom Stringer, dem Block oder vorherigen Furnierlagen wie in (2) abhebt, wodurch beim Heften Buckel entstehen. Kleinere Buckel kann man flach anklammern, aber ernsthafte Buckel gehen nicht weg. Richtiges Anpassen von Anfang an ist die beste Lösung. Falls sich aber eine schlechte Passung in die Beplankung einschleicht, befestigt man die Planke einfach so, wie sie flach liegt und verläßt sich auf die lückenfüllenden Qualitäten der Harzmischung.

Um mit dem Anpassen zu beginnen, nimmt man eine Tackerpistole und heftet das Furnier provisorisch so nah an das Hauptfurnier wie möglich. Die beiden Stücke passen normalerweise fast zusammen, in der Mitte entsteht aber ein deutlicher Spalt. Der Grund, das Furnier zu diesem Zeitpunkt zu heften, liegt darin, daß es zum Markieren sicher und ordentlich liegt und nicht verrutschen kann. Abbildungen 11 und 12 deuten Richtlinien zur Beurteilung an.

Ordentliches Ausliegen ist besonders wichtig, wenn man längere Furniere anpaßt. Wenn sie länger werden, sind sie leichter so zu platzieren, daß ein Ende dichter am Block anliegt als das andere. Markiert man eine Planke, die nicht richtig liegt, zeigt sich der Fehler, wenn man sie dauerhaft befestigen möchte. Es erfordert ein bißchen Erfahrung, um ein Gefühl dafür zu bekommen, ob etwas geht oder nicht.

Falls die eine Kante enger am Block anliegt als die andere, korrigiert man das Problem, indem man die Enden bewegt, bis beide Kanten gleichmäßig anliegen. Um die Lage weiter durchzuchecken, heftet man den mittleren Abschnitt mit einigen Klammern an den Block und bewegt die freien Enden leicht hin und her, bis man die natürliche, neutrale Position findet, die jedes einzelne Furnier einnimmt. Dann heftet man auch die Enden provisorisch an und markiert das Stück zur Bearbeitung.

Am besten benutzt man eine Reißnadel oder einen Zirkel, wie in Abbildung 14, um das Furnier zu markieren. Für größere Genauigkeit, insbesondere bei stark gekrümmten Rümpfen, kann man einen speziellen Schablonen-Markierer bauen. Welches Werkzeug man auch verwendet, man stellt es auf den größten Abstand zwischen den beiden Furnieren ein, wobei man die Kante des Hauptfurniers als Führung nimmt. In diesem Abstand zieht man einen Strich vom Kiel bis zur Deckslinie auf dem provisorisch befestigten Furnier. Danach entfernt man das markierte Furnier wieder vom Block und arbeitet bis zu dem Strich mit Säge und Hobel bei.

Schließlich schlichtet man die Furniere mit einem Blockhobel. In Fällen, in denen man nur wenig beiarbeiten muß, ist dies das einzige Werkzeug, das man braucht. Wenn man das Hobelmesser etwas tiefer als normal einstellt, kann man das Material ziemlich schnell abtragen.

Bild 19.13 – Anpassen eines Furniers an eine vorher aufgeklebte Planke.

Circel und Reißnadel sollten parallel zu einer bestimmten Bezugslinie gehalten werden.
Sie sollten nicht entlang der nachgezogenen Linie gedreht werden.

Bild 19.14 – Anzeichnen mit einem Zirkel.

Ist das neu angepaßte Furnier fertig bearbeitet, legt man es an das Hauptfurnier zur abschließenden Prüfung. Dazu kann man es normalerweise mit seinen Händen und einem Knie festhalten. Falls man sauber markiert und geschnitten hat, sollte das Furnier jetzt passen. Alle Buckel und Spalten zeichnet man mit dem Bleistift an, nimmt das Stück wieder ab und überarbeitet es leicht mit dem Hobel. Die erste und letzte Furnierschicht sind sichtbar und sollten deshalb überall gut passen; bei den mittleren Lagen kann man aber bis zu 3 mm große Spalte akzeptieren.

Nachdem man die erste Planke angepaßt hat, stellt man fest, daß das Fügen der nächsten Furnierserie ganz ähnlich ist: an den gleichen Stellen muß eine ähnliche Materialmenge entfernt werden, damit sie gut passen. Sobald man erfahrener wird, kann man die zu entfernende Menge schon erraten. Der Job schreitet viel schneller voran, weil sich alles wiederholt und schon bald kann man ein Stück in kurzer Zeit zum Markieren auslegen. Eine grade, wahre Kante an dem Furnier ist so wichtig, weil man durch eine krumme Kante getäuscht und aufgehalten wird.

Wenn man Furniere für die erste Lage anpaßt, heftet man sie an den Block und verklebt sie genauso mit den Einbauelementen, wie das Hauptfurnier. Sorgfältig achtet man darauf, den Furnierwinkel nicht zu verlieren. Nimmt man zuviel Material vom oberen oder untern Ende einer Serie weg, dann ändert sich der Winkel in derselben Richtung. Obwohl ein paar Grad Änderung zu keiner Beunruhigung Anlaß geben, sollte man jede entscheidende Abweichung durch ein in einer Richtung verjüngtes Furnier korrigieren, um den Originalwinkel wieder einzustellen.

Obwohl es ein wenig zusätzliche Zeit in Anspruch nimmt, gibt es gute Gründe, die Furniere der ersten Lage an den Kanten stumpf miteinander zu verkleben. Es verhindert das Durchsickern von Harz durch die Kanten der Furniere der ersten Lage, wenn die zweite Lage aufgebracht wird, und trägt so zu einer besseren Qualität der inneren Oberfläche bei. Wenn das Harz ausgehärtet ist, ist es schwerer zu schleifen als unbehandeltes Holz, und das kann zu unebenen Oberflächen führen. Die Furniere vorzubehandeln, um eine gleichmäßige Oberfläche zu erhalten, ist unpraktikabel, da sowieso die vielen Löcher von den Klammern gefüllt und überzogen werden müssen. Der zweite Vorteil der Stoßverleimung besteht darin, daß es die erste Lage steifer macht, so daß weniger Klammern zum Fixieren der zweiten Lage benötigt werden.

Um die Kanten zu verleimen, mengt man leichte Füllstoffe dem Epoxidharz bei, damit die Mischung fugenfüllend wird. Man trägt die geringste notwendige Menge des Klebers auf die Kanten der Furniere auf. Dann klammert man mit Heftklammern, wobei man dünne Holzleisten oder Abfallfurnierstücke unterlegt, um den Druck über die gesamte Länge der Verbindung zu verteilen. Auf jeden Fall achte man darauf, Plastik dazwischen zu legen, damit die Leisten nicht am Furnier ankleben.

Bild 19.15 – Auftragen von Harz auf die Kante eines Cedar-Furniers.

Auftragen von WEST SYSTEM Epoxidharz

Strukturelle, spaltfüllende Klebstoffe ermöglichen das Lamellieren von Rümpfen mit nur geringem Anpressdruck. Lamelliervorgänge unter geringem Anpressdruck haben ein paar vorhersehbare Problempunkte, die man aber verhindern kann,

indem man WEST SYSTEM Epoxidharz / Füllstoff-Mischungen entsprechend zwischen den Lagen aufträgt. Falls man das noch nicht so getan hat, sollte man den Abschnitt über das Lamellieren in Kapitel 9 lesen, um sicher zu sein, daß man die dort dargestellten Vorgänge verstanden hat.

Gleichgültig, wie gut man das Holz geheftet hat, ist es möglich, daß man in manchen Fällen zu wenig Anpressdruck erreicht. Hohlräume – Lufttaschen zwischen den Furnierschichten – sind daher ein ständiges Problem. Der Schlüssel, das Problem zu verhindern, ist, eine hochviskose Mischung zu verwenden und etwas mehr aufzutragen, als wirklich benötigt wird. Wenn man dies tut, werden die Hohlräume normalerweise von massivem Harz ausgefüllt. Ausgehärtetes WEST SYSTEM Epoxidharz kann einigermassen große Flächen sicher überbrücken und sie so stark wie jeden anderen Teil der Lamellierung machen.

Ohne Füllstoffe ist das Epoxidharz zu dünnflüssig, um in einer Lamellierung eingesetzt zu werden. Daher erhöht man seine Viskosität und verringert seine Dichte, indem man WEST SYSTEM Füllstoffe niedriger Dichte zufügt. Diese Mischung ist zwischen Furnierlagen ideal und kostet auch im Verhältnis zum Volumen weniger als Epoxidharz alleine. Füllstoffe vermindern die Eindringfähigkeit des Harzes leicht und reduzieren so die Wahrscheinlichkeit von Harz-armen Verbindungen. Ne•benbei ist diese Mischung leichter zu schleifen und spart so Zeit beim Säubern und Schlichten zwischen den Lamellierungen.

Mischungen von WEST SYSTEM Epoxidharz und leichten Füllern sind fast immer gut oberhalb der Festigkeit der Holzfasern; falls man aber Furniere von schweren Hölzern benutzt, verwendet man eher Füller von großer Dichte. Leichte Füller können für hochfeste Hölzer unangemessen sein.

Man mischt dem Epoxidharz, gleich welchen Füllstoff, bis zu einer Konsistenz von dickem Sirup bei. Die Mischung sollte dünn genug sein, daß man sie mit einer Schaumrolle, oder einem Zahnspachtel auftragen kann. Sie muß in der Lage sein, sich in der Lamellierung leicht auszubreiten, wenn Druck aufgebracht wird und in Gebiete zu fließen, in denen dringend Harz zum Auffüllen von Spalten benötigt wird. Man wünscht außerdem, daß überflüssiges Harz seinen Weg zu den Kanten des Furniers sucht, wo es nach außen dringen kann.

Es gibt eine optimale Klebstoffmenge für die meisten Lamellier-Anwendungen. Falls man jedoch zu wenig nimmt, bleibt möglicherweise zu wenig Harz zwischen den Furnieren, um Lücken und Hohlräume zu füllen. Nimmt man zuviel von der

Bild 19.16 -Aufrollen einer dünnen Klebermischung auf eine Cedar-Fumierplanke mit einer Schaumrolle.

Mischung, können sich Harzansammlungen bilden, insbesondere, wenn die Mischung zu dick ist. Falls diese entstehen, könnte sich das Furnier wölben und man erhält einen Buckel, den man wieder ausstraken muß. Zuviel Epoxidharz zu benutzen ist zu teuer und unsauber.

Zwei Faktoren bestimmen die aufzutragende Epoxidharzmenge. Der erste ist die Qualität der zu verleimenden Oberflächen. Wenn die Furniere rauh

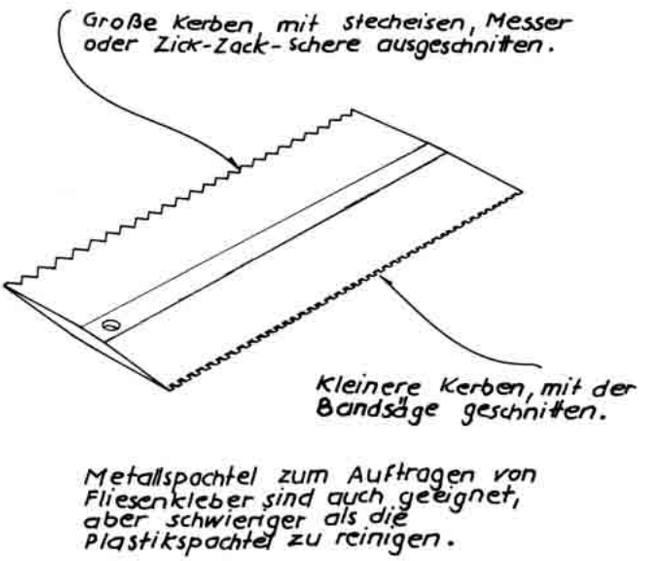

Große Kerben mit Stecheisen, Messer oder Zick-Zack-Schere ausgeschnitten.
Kleinere Kerben, mit der Bandsäge geschnitten.
Metallspachtel zum Auftragen von Fliesenkleber sind auch geeignet, aber schwieriger als die Plastikspachtel zu reinigen.

Bild 19.17 – Flexibler Plastikzahnspachtel zum Auftragen von Kleber.

und die Oberflächen nicht besonders eben sind, gibt es mehr Hohlräume und eine größere Nachfrage nach lückenfüllendem Harz. Die Stärke des Anpressdrucks und . die Art der Krümmungen verändern ebenfalls die Auftragsraten.

Normalerweise ist ein Verbrauch von 0,24 kg/m^2 Standardharz vor dem Zufügen von Zuschlägen für rauhe Flächen angemessen. Ein Verbrauch von 0,16 kg/m^2 ist bei besseren Flächen und angemessenem Druck erreichbar. Im Zweifelsfall benutzt man am Anfang etwas zuviel Harz und verringert dann die Menge bei jedem weiteren Furnier, bis man einen guten Verbrauch erreicht hat.

Es ist notwendig, genügend Epoxidharzmischung auf das Furnier zu bringen, aber genauso wichtig ist es, dies über die gesamte Fläche gleichmäßig zu verteilen. Gleichmäßige Verteilung hilft, trockene Stellen zu verhindern. Dafür verwendet man sowohl Schaumstoffrollen als auch Plastik-Zahnspachtel. Techniken für den Gebrauch von diesen einfachen Werkzeugen sind in den vorhergehenden Kapiteln genau beschrieben worden. Obwohl man sich an den Zahnspachtel schwerer gewöhnen kann und es schmutzig ist, wenn man nicht vorsichtig ist, lassen sich damit gleichmäßige Mengen von Klebstoff besser verteilen. Er ist auch überlegen, wenn die Klebermischung so dick ist, daß sie mit normalen Rolltechniken nicht mehr so einfach aufgetragen werden kann.

Um sich einen Zahnspachtel zu machen, bearbeitet man die Kante eines Wischers mit einer Zick-Zack-Schere, einer Feile oder einem Messer. Die Kanten paßt man an, bis das Werkzeug die bestimmte Menge an gedickten Epoxidharzes auf dem Furnier zurückläßt. Man gießt den Kleber direkt aus dem Mischbecher so gleichmäßig, – wie möglich über die ganze Fläche und bewegt ihn dann mit dem Spachtel, bis die ganze Oberfläche gleichmäßig bedeckt – ist. Dann entfernt man übriggebliebenes Harz vom Holz und überträgt es auf das nächste Furnier.

Falls man eine Standard-Schaumrolle benutzt, kann man das Harz entweder direkt aus dem Mixbecher auf das Furnier oder erst in eine Ausrollwanne gießen und von da mit der Rolle aufnehmen, um es zu verteilen. Man sollte eine relativ gleichmäßige Schichtdicke durch starkes Rollen auf dem Furnier herstellen. Die Schichtstärke ist mit der Rolle leicht zu fühlen, aber man sollte sich vor der weit verbreiteten Tendenz hüten, das Epoxidharz zu stark auszubreiten.

Eine gute Art, die Verteilungsrate zu prüfen, besteht darin, das Resultat zu untersuchen. Man trägt auf die Fläche auf, was man für eine ausreichende Menge hält und heftet das Furnier mit dem späteren Klammermuster an seinen Platz. Sofort zieht man die Klammern wieder heraus und nimmt das Furnier vorsichtig wieder ab. Dann kann man auf beiden Flächen sehen, wo sie sich berührt haben. Noch auffälliger ist noch glänzendes Harz auf beiden Oberflächen. Dies zeigt an, daß es keinen Kontakt gegeben hat, was in einer endgültigen Lamellierung wahrscheinlich Hohlräume zur Folge hätte.

Hohlräume können aufgrund von zu geringem Klammerdruck, nicht ausreichenden Klebermengen oder ungleichmäßiger Kleberverteilung entstehen. Das abgenommene Furnier untersucht man um und in den Hohlräumen nach Klammerlöchern. Möglicherweise wird offensichtlich, daß in dem Bereich zu wenig Klammern, also auch zu wenig Anpressdruck war. Entscheidend viele und große Gebiete von Hohlräumen deuten auf allgemeinen Harzmangel hin. Wenn man überhaupt keine Hohlräume sieht, trägt man vermutlich zu viel auf. Dann reduziert man beim nächsten Versuch die Menge und experimentiert solange, bis man genug Erfahrung gesammelt hat.

Anbringen der zweiten Lage

Der Lamelliervorgang fängt eigentlich erst mit dem Anbringen der zweiten Lage an. Man beginnt wie bei der ersten Lage, indem man ein Hauptfurnier in der Mitte des Blockes ausrichtet. Dieses Furnier läuft normalerweise in die entgegengesetzte Richtung; als ob man ein ausgeglichenes doppeltes Diagonal bilden möchte.

Wenn man die Position des Furniers bestimmt hat, nimmt man einen Bleistifft und umreißt damit sorgfältig das neue Hauptfurnier auf der ersten Lage und legt es wieder beiseite. Dann zieht man alle Klammern der ersten Lage, die im markierten Bereich liegen. Die Furniere der ersten Lage liegen beinahe rechtwinklig zu den Furnieren der zweiten Lage und verziehen sich durch das Entfernen der Klammern normalerweise nicht. Die Klammern auf bei den Seiten des markierten Bereichs halten die erste Schicht weiterhin am Platz.

Wenn es soweit ist, das Hauptfurnier der zweiten Lage anzubringen, trägt man sowohl auf die umrissene Fläche als auch auf die Unterseite des Hauptfurniers Kleber auf. Dann legt man es vorsichtig auf seinen markierten Platz und hält es von Hand fest, während man ein paar Klammern zum Fixieren in der Nähe des oberen und unteren Endes entlang der Mittellinie setzt. Diese Klammern verhindern das Verrutschen des Furniers, so daß man beide

Bild 19.18 – Anbringen der zweiten Beplankungsschicht.

Hände zum Tackern frei hat. Dann wendet man ein für die Situation angemessenes Muster zum Klammern an und lamelliert so das Hauptfurnier. Das an den Seiten hervorquellende Harz entfernt man, damit das ausgehärtete Harz nicht bei der nächsten Aufgabe im Weg ist.

Eine Alternative, Epoxidharz bei der zweiten und folgenden Schicht aufzutragen, besteht darin, die vorhergehende Schicht zu schleifen und zu beschichten und anschließend aushärten zu lassen. Wenn man bereit ist, Furniere zu lamellieren, trägt man die angedickte Epoxidharzmischung sowohl auf die neuen Stücke, als auch auf den Untergrund auf.

Man paßt die benachbarten Furniere genauso an, wie bei der ersten Lage, aber man sollte sie noch nicht am Block ankleben. Wir empfehlen, mit dem Auftragen von Kleber auf die Furniere der zweiten Lage solange zu warten, bis man die gesamte Schicht angepaßt hat. Man fixiert die Furniere mit wenigen Klammern, wenn sie fertig bearbeitet sind (es ist nicht notwendig, daß sie eng am Block anliegen, solange sie flach aufliegen und die zugehörigen Kanten zusammenpassen), bis man die gesamte Rumpfoberfläche abgedeckt hat. Dann geht man zurück zu den Furnieren beiderseits der Hauptfurniere und fängt an zu lamellieren.

Hierzu nimmt man jeweils ein oder zwei Stücke ab, trägt genügend Epoxidharzmischung an allen zu klebenden Oberflächen auf und klammert das neue Furnier an seinem Platz fest. So geht man entlang des ganzen Rumpfes vor, bis man die Lage komplett aufgeklebt hat. Während sich bei dieser Methode ein Nachteil zeigt, indem man das Holz zweimal auf den Block tackert, resultiert ihre eigentliche Effizienz aus dem Umstand, daß man alle Furniere auf einmal anbringt. Dies nutzt sowohl den

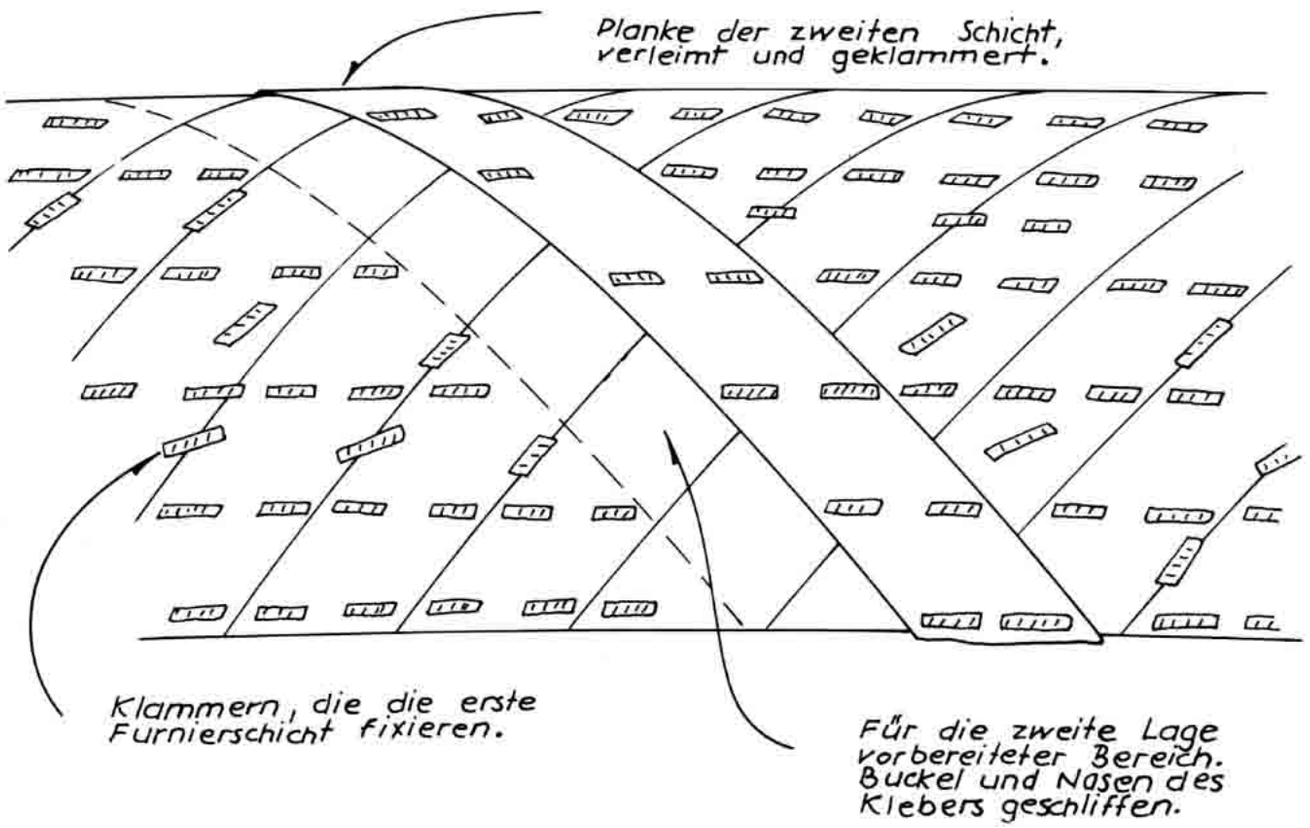

Planke der zweiten Schicht, verleimt und geklammert.
Klammern, die die erste Furnierschicht fixieren.
Für die zweite Lage vorbereiteter Bereich. Buckel und Nasen des Klebers geschliffen.

Bild 19.19 – Markierung und Vorbereitung des Rumpfes auf die zweite Furnierschicht. Beachten Sie, daß die Klammem in der ersten Lage gelassen werden, bis die Planken der zweiten Lage angepasst werden.

Klebstoff als auch die Arbeitskraft ökonomischer aus und vermeidet viel von dem Schmutz, der vom gleichzeitigen Anpassen und Kleben herrührt.

Man kann Klammern der zweiten Lage teilweise schon entfernen, bevor die ganze Lage aufgebracht ist. So sollte man versuchen, die Klammern schon zu ziehen, bevor das Harz vollständig ausgehärtet ist. Wir finden es am besten, die Furniere an dem einen Tag aufzubringen und am nächsten Tag die Klammern zu ziehen, aber man kann damit schon nach sieben oder acht Stunden nach dem Auftragen anfangen.

Findet man Bereiche, in denen die beiden ersten Lagen sich leicht von der Form abheben, wenn man die Klammern entfernt, sollte man sie erneut mit so wenig dauerhaft verbleibenden nichtrostenden Klammern wie möglich fest anheften. Dieses Zurückspringen ist ein Problem, daß nur bei Rümpfen mit außergewöhnlichen Linien auftritt. Bemerkenswert ist allein, daß die Klammern das Abheben der Schale von der Form erschweren können. Wir hatten damit jedoch keine besonderen Schwierigkeiten bei unseren Rümpfen, aber wir mußten auch nie mehr als ungefähr ein Dutzend Klammern im Rumpf lassen. Nimmt man den Rumpf von der Form, knipst man die überstehenden Klammern mit Seitenschneidern oder Kneifzangen glatt mit der Oberfläche ab und schleift sie bei.

Falls eine dritte Lage vorgesehen ist, schlichtet man den Rumpf leicht vor dem nächsten Auftrag. Man benutzt einen Handhobel und einen Schleifklotz mit grobem Schleifpapier zum Entfernen von irgendwelchen Epoxidharznasen zwischen den Furnierkanten und jeglichen, während des Lamellierens entstandenen Unebenheiten. Man kann diesen Vorgang erheblich beschleunigen, wenn man dazu einen einfachen Polierer mit 2100 Umdrehungen pro Minute mit einer Schleifscheibe aus Schaum benutzt. Wir kleben ein Stück Plastik oder Sperrholz darunter, da diese Kombination besser zum Schlichten von Erhebungen geeignet ist, als die Schaumscheibe alleine. Dann wird der allgemeine Strak mit Hilfe einer in verschiedenen Winkeln angelegten leichten Latte überprüft. Die Unebenheiten sind dann sofort zu erkennen. Sie werden schnell mit Kreide oder Bleistift zum Entfernen markiert.

Mechanisches Anpassen

Ein Hauptproblern beim Lamellieren von Rümpfen ist das erforderliche langweilige Anpassen. Richtiges Anpassen verlangt nach einer ganzen Menge Zeit und Geschick. Während die ersten Lagen, und üblich erweise auch die letzten Lagen von Hand angepaßt werden müssen, kann man die mittleren Lagen, wieviele auch immer, mit einem schnelleren und einfacheren *mechanischen Anpassungsvorgang* trimmen.

Ein mechanisches Gerät dazu ist im Grunde ein Werkzeug, das gleichmäßige Abstände zwischen den Furnieren schneidet. Das Trimmen findet auf dem Rumpf statt, nachdem angedicktes Epoxidharz auf die zu klebenden Oberflächen aufgetragen und die Furniere an ihren Platz getackert worden sind. Die Lücken werden mit Füll-Furnieren bestimmter Standardgrößen – schmale Streifen von Lamelliermaterial – ausgefüllt. Mit einem Anpasser ist es möglich, einen ganzen Rumpf mit minimalem Aufwand an Hand-Anpaßarbeit zu lamellieren. Wenn ein Rumpf einen entsprechend großen Anteil von zusammengesetzten Krümmungen hat, der viel Anpassarbeit erfordert, spart ein mechanisches System enorm viel Zeit.

Unglücklicherweise gibt es keine handelsüblichen Anpassgeräte. Man muß sich sein eigenes Gerät machen, aber das ist nicht schwer. Es gibt zwar verschiedene Wege, diese Geräte herzustellen, aber eigentlich sind es nur zwei Haupttypen. Der erste und gebräuchlichste benutzt ein Kreissägeblatt, während der zweite Typ mit einer Oberfräse mit kleinem Schneidkopf arbeitet. Wir verwenden normalerweise den Säge-Typ und haben einige Variationen darüber entwickelt, die ziemlich gut arbeiten.

Jede zum Anpassen verwendete Maschine sollte einen 3,1 mm tiefen Schnitt im Abstand von ca. 50 mm von der Kante eines fest angebrachten Furniers machen. Dieses Furnier dient als Führung, an der das Gerät entlang fährt. Es ist auf jeden Fall wichtig, daß die Maschine genau 3,1 mm tief schneidet, damit sie nicht in das darunter liegende Furnier sägt. Die Lücken zwischen den Furnieren dürfen nicht weiter als die 50 mm sein, die die Maschine schneiden kann. Da typische Planken an den Enden ca. 20 mm und in der Mitte ca. 45 mm von einander entfernt sind, stellt dies keine ernsthafte Grenze dar. Gleich, welches Werkzeug man auch benutzt, man sollte dafür sorgen, daß es scharf ist. Ansonsten neigt das Blatt dazu, der Maserung des Furniers zu folgen, was dazu führen kann, daß das Gerät von der Führungskante weggezogen wird.

Wenn wir unsere Furniere mit einem mechanischen Anpasser lamellieren, sorgen wir dafür, daß wir keine Klammern in den Schnittbereich schießen. Wir schneiden ein Furnier mit dem Anpasser, wobei uns das gegenüberliegende Furnier als Führung dient. Der verjüngte Bereich wird so eine

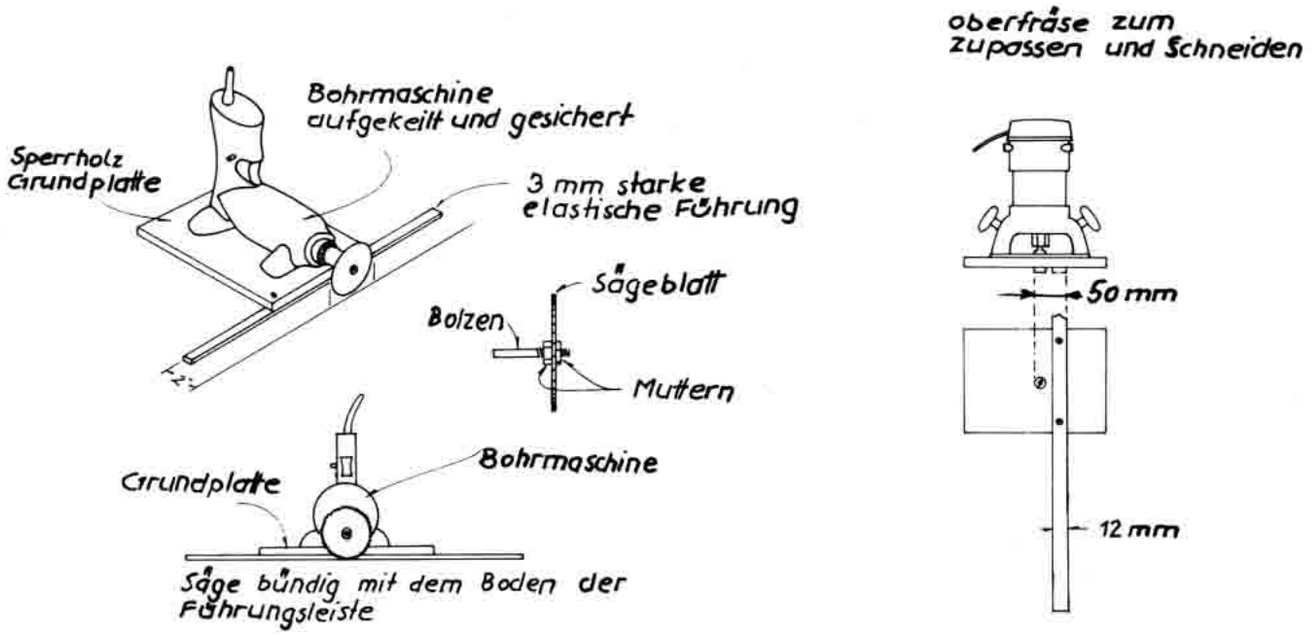


Bild 19.20 – Mechanische Anpassungssysteme.

konstant 50 mm breite Bahn. Wir entfernen das abgeschnittene Holz, säubern den Bereich sorgfältig von Sägespänen und verschmutztem Harz und tragen frisches Harz auf. Als nächstes passen wir einen 50 mm breiten Furnierstreifen ein, der die Lücke zwischen den Furnieren auffüllt. Dieser Vorgang wird bei allen Zwischenräumen auf dem gesamten Rumpf wiederholt.

Wir arbeiten normalerweise mit einem Team, das die Furniere nur auflegt und ziemlich schnell den Rumpf abarbeitet und dabei die Furniere sorgfältig so plaziert, daß möglichst wenig Abfall anfällt. Diese Leute markieren den benötigten Raum auf den Planken und können so die Klammern außerhalb des Furnierbereichs, der entfernt wird, setzen. Das folgende Anpaß-Team sägt 50 mm breite Lükken und lamelliert sofort 50 mm breite Furnierstreifen in die entstandenen Lücken. Das Anpassen und Lamellieren in einem Arbeitsgang ist sehr schnell und macht einen lamellierten Rumpf im Blick auf die Arbeitszeit ökonomischer.

Wir sollten hervorheben, daß das Schneiden und Entfernen des Furniers aus der Lücke geschehen muß, bevor das Epoxidharz ausgehärtet ist. Falls der Kleber schon zu lange anziehen konnte, wird es sehr schwierig und arbeitsintensiv, das überflüssige Furnier und das Harz zu entfernen, um die Öffnung für die Füllstreifen vorzubereiten.

Abbildung 20 zeigt ein einfaches Anpaß-Werkzeug, das aus einer kleinen Handbohrmaschine gebaut wurde. Eine 250 mm lange, 12x3,1 mm dicke Stahlleiste bildet die Führung. Wir biegen diese, bis sie den stärkeren Krümmungen des Rumpfes angemessen ist und den Furnierkanten folgt. Dann stellen wir unser eigenes kleines Kreissägeblatt von 50 mm Durchmesser aus dem Stahlblatt einer alten Handsäge her, befestigen dieses Blatt zwischen zwei Muttern auf einer 10 mm-Gewindestange und spannen es in das Futter der Bohrmaschine ein. Schließlich kleben wir ein Stück Holz auf die Bohrmaschine, um die Schnitttiefe zu kontrollieren; so weit vorne und so dicht am Futter, wie möglich.

Ein Werkzeug, das einfacher einzustellen, aber etwas schwerer und unhandlicher ist, war die 115 mm-Durchmesser-Kreissäge. Hier bolzt man einfach eine simple Führung auf die Basis und stellt die Schnittiefe auf 3,1 mm ein. Die modifizierte Kreissäge ist in den meisten Situationen sehr gut, aber sie läßt sich beim Schneiden von Furnieren großer Schiffe schwerer handhaben.

Ebenso kann man eine Oberfräse zum mechanischen Anpassen verwenden, wie in Abbildung 20 zu sehen ist. Eine Oberfräse hat einen großen Vorteil, da sie nicht besonders von der Maserung beeinflußt wird und somit genauer arbeiten kann. Ihr Nachteil besteht darin, daß eine ganze Menge Holzspäne entstehen, die natürlich den Bereich zwischen den zwei Furnieren verschmutzen und für mehr Reinigungsarbeit sorgen, bevor das Füllstück angebracht werden kann. Die Fräskopfe nutzen sich auch schneller ab als Sägeblätter. Trotz dieser Unzu-

länglichkeiten bevorzugen einige Bootsbauer die Oberfräse als mechanischen Anpasser wegen ihrer Genauigkeit.

Aufbringen der dritten und folgenden Lagen

Nach dem leichten Schlichten wendet man sich der dritten Lage zu. Dies unterscheidet sich erheblich von den ersten zwei Schichten, da man jetzt nicht mehr in den Block klammert. Jetzt lamelliert und klammert man nur noch an die vorhergehenden beiden Schichten. Zunächst plaziert man das Hauptfurnier wie bei den ersten beiden Lamellierungen mittschiffs in dem geforderten Winkel. Da man nicht in den Block klammern möchte, wählt man kürzere Klammern als vorher: für die dritte Lage von 3,1 mm-Furnier nimmt man zum Beispiel 8 mm-Klammern anstelle von 14 mm-Klammern. Jetzt hat man außerdem die Möglichkeit, die Klammern in der Lamellierung zu lassen, wobei man einige Zeit sparen kann. Entscheidet man sich gegen das Herausziehen, sollte man nichtrostende, legierte Klammern verwenden, die leicht versenkt werden. Sonst könnte man beim groben Straken oder Schlichten Ärger bekommen. Wenn man dazu Maschinen benutzt, kann man überstehende legierte Klammern einfach glatt schleifen.

So bringt man alle folgenden Lamellierungen ebenfalls an, egal, ob man die Klammern zurückläßt oder herauszieht. Die letzte Lage wird jedoch wieder in einer besonderen Art und Weise angebracht und die Klammern werden auf jeden Fall entfernt.

Bevor man die letzte Lage aufbringt, strakt und schlichtet man den ganzen Rumpf, insbesondere, wenn es ein Naturfinish geben soll. Es ist besser, auf der vorletzten Lage sichtbare Buckel zu entfernen und Vertiefungen aufzufüllen, als dies auf der letzten Lage zu versuchen. Man sollte einen allgemeinen Strak anstreben, so daß man beim abschließenden Schlichten der letzten Schicht nicht mehr als 1,6 mm abnimmt.

Ist man ernsthaft aus dem Strak geraten, sollte man erwägen, die Klammern der vorletzten Schicht zu entfernen, um die Schlichtarbeiten zu beschleunigen. Starke Vertiefungen füllt man mit einer sehr dicken, leicht schleifbaren Mischung aus leichtem Füller und Harz auf. Erhöhungen entfernt man, während ständig mit einer Leiste der Strak kontrolliert wird.

Aufbringen der letzten Fumierschicht

Der Klammervorgang und die Ausrichtung der Furniere der letzten Schicht sind abhängig davon, ob man den Rumpf farbig oder klar lackieren möchte. Ein Naturfinish erfordert eine makellose Oberfläche, und dies ruft nach besonderer Sorgfalt. Die Resultate scheinen die zusätzliche Arbeit wert zu sein.

Möchte man den Rumpf farbig lackieren, trägt man die letzte Furnierschicht wie die zweite Lage auf. Wir benutzen generell die Plastik-Klammerstreifen auf der letzten Lage von lackierten Rümpfen, weil man damit schneller arbeiten kann als mit den Holzstreifen, die man bei Naturlackierungen benötigt. Jede Klammer hinterläßt eine kleine Delle im Holz, aber die schleifen wir beim Schlichten zum größten Teil weg und können die übrigen leicht beim Beschichten und Endlackieren berücksichtigen. Obwohl man Fehler auf einer farbig lackierten Oberfläche überdecken kann, ist es effektiver, beim Auftragen der letzten Lage sorgfältiger zu sein. Das Füllen und Schleifen der Spalten, Risse usw. ist sehr zeitraubend; je weniger man damit zu tun hat, umso schneller ist der abschließende Schlichtvorgang.

Bei Oberflächen, die entweder geschliffen oder lackiert werden, achtet man speziell darauf, die letzte Lage akkurat anzupassen. Beim Lamellieren muß man aufpassen, daß die Furnierkanten bis zur äußeren Oberfläche durchgeklebt sind. Daher beschichten wir bei den letzten Lagen immer sowohl die flache Oberfläche als auch die Kanten der Furniere, um sicher zu gehen, daß sie nicht trocken bleiben.

Die Entscheidung, ob ein Rumpf außen klar lackiert werden soll, ist normalerweise vom persönlichen Geschmack abhängig. Manche naturlackierten Boote sind mit soviel Geschmack und Kunstfertigkeit gebaut worden, daß man sie als Kunstwerke betrachtet, von ihnen spricht und sie bewundert. Unglücklicherweise muß man zwischen dem Wunsch nach solcher Schönheit und der auf lange Sicht ständig zusätzlichen Pflege, die erforderlich ist, um eine naturlackierte Oberfläche im Top-Zustand zu erhalten, abwägen.

Wie wir bereits in Kapitel 11 besprochen haben, ist das Sonnenlicht der größte Feind von klar lackierten Rümpfen. Naturlackierte Oberflächen können sehr schnell zerstört werden und solche Rümpfe sind viel schwieriger zu reparieren als farbig lackierte Rümpfe, wenn man die natürliche Schönheit der Oberfläche wieder herstellen möchte.

Schon in einem frühen Stadium des Projekts sortiert man die schönsten Furniere aus und hebt sie für die letzte Schicht auf. Der persönliche Geschmack und die Qualität des Holzes bestimmen dabei die Auswahl. Diese Lage kann man entweder

diagonal oder horizontal verlegen. Es kann sein, daß mehr längsgerichtete Fasern in dem Rumpf erforderlich sind, so daß man die äußere Lage am besten horizontal verlegt. Bei größeren Rümpfen mit vielen Lamellierungen hat die Ausrichtung der äußeren Schicht keinen so entscheidenden Einfluß auf die Gesamtfestigkeit und die Steifigkeit, so daß persönliche Präferenzen die Furnierrichtung bestimmen können.

Die Rumpfseitenwände werden normalerweise nur bis zur Wasserlinie klar lackiert. Die Unterwasserschiffe werden meistens farbig gestrichen und es ist daher nicht notwendig, die Furnierorientierung aus dem naturlackierten Bereich im dem Bereich fortzusetzen, der farbig werden soll. Also kann man den Überwasserbereich horizontal beplanken und den unteren Bereich in der typischen diagonalen Richtung fertigstelIen. Bei manchen Booten kann diese Kombination zu strukturellen Vorteilen führen.

Wir passen diagonal verlegte Furniere in der letzten Schicht einer naturlackierten Rumpfschale von Hand an und achten insbesondere auf erstklassige Passungen. Wir sind der Meinung, daß eine gleichmäßige Furnierbreite, üblicherweise zwischen 100 und 150 mm, über den ganzen Rumpf besser aussehen, als zufällige Breiten. Diagonal verlegte Naturlackierungen sind bei Booten bis zu 30 Fuß üblich, auf längeren Booten wird es dagegen nur selten beobachtet. Wir meinen aber, daß die Tradition die einzige Einschränkung hierfür darstellt.

Beim Anbringen horizontaler Furniere wählen wir immer Standardfurnierbreiten, normalerweise nicht über 40 mm. Schmale, gleichmäßig breite Furnierstreifen sind schön und lassen sich leicht entlang der Rumpflinien ohne bzw. mit geringer Bearbeitung biegen. Sie können verjüngt werden, wie seit Jahrhunderten bei beplankten Rümpfen üblich, aber unserer Meinung nach ist es unnötiger Zeitaufwand, der vermieden werden kann. Daher ist horizotales Verlegen der letzten Lage relativ einfach, da man das Furnier in zwei Richtungen zugleich biegen kann. Wir schäften die Furniere in Längsrichtung nicht, sorgen aber für exakte Stöße, wobei wir die Stöße wegen dem besseren Aussehen und der größeren Stabilität gleichmäßig über den Rumpf verteilen.

Mit dem horizontalen Beplanken fängt man meistens mittschiffs, ein paar Handbreit unter der Deckslinie an, wobei die Furniere in Bug- und Heckrichtung gegen die Deckslinie geschwungen sind. Beplankung, die etwas mehr gekrümmt ist als die Deckslinie, sieht gut aus und gibt zugleich etwas Reserve, damit die Beplankung nach unten hin

Bild 19.21 – Anbringen der letzten Furnierschicht auf dem Halbtonner GOLDEN DAZY. Die Seiten dieser Schicht wurden in Längsrichtung verlegt, der Unterwasserbereich quer zur Fahrtrichtung und wie im Bild gestoßen. Man beachte, daß die Furniere unter der letzten Lage viel breiter sind.

Bild 19.22 – Abschließende längs verlegte Furnierschicht auf einem Halbtonner.

gerader werden kann. Das Ziel ist es, die Planken nicht weiter als parallel zur Wasserlinie laufen zu lassen, wenn sie zum Bootsboden kommen. Um zu verhindern, daß sie einen „negativen Sprung“ bekommen, mißt man den Abstand vom Hauptfurnier bis zur Konstruktionswasserlinie. Ist der Abstand in der Mitte kleiner als an den Enden, tendiert die Beplankung zu einem negativen Sprung. In diesem Fall justiert man das Hauptfurnier so lange, bis die gesamte Beplankung eine leichte Krümmung zur Deckslinie hat.

Am besten verwendet man eine lange Latte, die leicht am Rumpf angeheftet wird, als Orientierungshilfe für das horizontale Hauptfurnier. Dabei versichert man sich, daß sie eine strakende Kurve ohne Buckel und Senken bildet. Nachdem man die erste Planke von Bug bis Heck befestigt hat, entfernt. man die Latte und paßt die Beplankung von beiden Seiten an, wobei das Hauptfurnier beim Ausrichten hilft. Um sowohl den Schaden am

Rumpf, als auch die benötigte Anzahl von Klammern zu minimieren, benutzt man hölzerne Klammerstreifen bei der letzten Lage. Diese Streifen sollten schmaler sein, als die Furniere, damit sie nicht so leicht an der Oberfläche ankleben. Wie zuvor bereits deutlich gemacht, können durch herausgequetschtes Harz die Holzstreifen leicht am Rumpf festkleben. Dagegen schützt eine Plastikfolie ganz gut.

Hat man die letzte Furnierschicht fertig, lamelliert und befestigt man eine Stevenkappe. Zusätzliche Holzlagen können notwendig sein, um die Kielform zu vollenden. In den meisten Fällen kann man diese mit Schrauben fixieren, bis das Epoxidharz ausgehärtet ist. Bei extremen Krümmungen sollte man Unterlegscheiben benutzen, damit man größeren Druck ausüben kann. Wenn dies unpraktisch ist, baut man sich eine provisorische Form, über der man die Teile mit einer leichten Zugabe für das Rückfedern lamelliert. Danach sägt man die Umrisse der Teile grob aus und klebt sie an ihre Plätze zum abschließenden Straken.

Das abschließende Straken

Das Straken ist eine der Künste beim Bootsbau. Wir bezweifeln zwar, daß irgendjemand jemals einen perfekt strakenden Rumpf gebaut hat, aber wir haben schon einige gesehen, die das fast erreicht hatten. Bis zu einem bestimmten Punkt ist guter Strak eine Notwendigkeit, denn glatte Rümpfe bieten nicht so viel Widerstand, wie Rümpfe mit Beulen und Vertiefungen. Danach ist der Strak in Bezug auf die Bewegung durchs Wasser zwar nicht mehr wichtig, erlangt aber Bedeutung als ein Aspekt des persönlichen und handwerklichen Stolzes.

Man sollte normalerweise die Strak- und Schlichtarbeiten durchgeführt haben, bevor die Rumpfschale vom Kern gehoben wird. Eine Ausnahme hiervon machen dünnwandige Rümpfe, die Unterstützung durch ein inneres Rahmenwerk brauchen. In diesem Fall würde man den Rumpf nach Einbau des Rahmenwerkes abschließend straken und schlichten.

Vor dem abschließenden Straken sollte man die letzte Furnierschicht grob schlichten, um Harznasen und deutlich sichtbare Unebenheiten, wie bei den vorigen Lagen, zu entfernen. Block- oder Schlichthobel und leicht flexible Schleifklötze mit Schleifpapier mit 60er oder 80er Körnung sind dafür das richtige Werkzeug. Benutzen Sie keine Druckluftfeile oder andere Maschinen zum Schlichten eines naturlackierten Rumpfes. Wenn man keine große Erfahrung im Umgang mit Maschinen hat, läuft man große Gefahr, Kratzer im Holz zu hinterlassen und die kann man später womöglich sehen.

Das abschließende Straken unterteilt sich in zwei Bereiche. Der erste, das örtliche Straken, ist das Glätten des Rumpfes in bestimmten Bereichen. Das allgemeine Straken, als zweiter Abschnitt, ist schwieriger. Ein Rumpf kann solange geschliffen worden sein, bis er sehr glatt ist, aber insgesamt immer noch nicht straken. An diesem Punkt sind normalerweise in der Gesamtheit noch große Vertiefungen und Beulen sichtbar. Hier ist es wichtig, daß man alles tut, einen allgemeinen Strak zu erzielen, bevor der Rumpf beschichtet wird, da Fehler im allgemeinen Strak nur äußerst schwierig zu korrigieren sind.

Das abschließende Straken beinhaltet das Finden und Entfernen von Erhöhungen, so daß sie sich der übrigen Oberfläche anpassen. Die Schwierigkeit besteht darin, die Erhöhungen genau zu bestimmen, bevor man mit dem Hobeln oder Schleifen beginnt. Beim Arbeiten sollte man kontinuierlich herumgehen und den Rumpf aus verschiedenen Blickwinkeln betrachten. Ein *Kreidestock* hilft beim Auffinden von Unebenheiten, und man kann sich daran gewöhnen, solche Stellen schnell zu identfizieren und seine Arbeit zu überprüfen. Man baut einen aus einer 20 bis 30 mm Vierkant-Leiste von ungefähr 1,80 m Länge. Dazu verwendet man die geradeste Leiste, die man bekommen kann und die auch am gleichmäßigsten biegt. Man trägt Tischlerkreide an den Oberflächen der Kreideleiste auf und biegt sie über den Rumpf, so daß sie mit dem größten Teil ihrer Oberfläche den Rumpf berührt. Dann

Bild 19.23 – Dieser Rumpf wird zur Vorbereitung auf die Harzbeschichtung abschließend geschliffen. Man beachte die Furniemaht entlang der Bilge. Die Seiten dieses Rumpfes bestehen aus ausgesuchten Furnieren, die von der Deckskante bis gerade unter die Wasserlinie reichen.

bewegt man die Leiste leicht auf dem Rumpf hin und her, damit sich die Kreide auf den erhöhten Stellen abreibt. Auf diese markierten Stellen konzentriert man dann das Schleifen, um diese Erhöhungen bis zu einem gleichmäßigen Strak abzutragen. Man kann den Kreidestock zum Überwachen des Fortschritts so oft benutzen, wie man möchte, bis man mit dem Rumpfstrak zufrieden ist.

Das abschließende Straken sollte man immer von Hand mit 50er bis 60er Schleifpapier auf einem Klotz und mit scharfen, fein eingestellten Handhobeln vornehmen. Schleifblöcke sollten sich ein wenig biegen, damit sie der Rumpfkontur folgen können. Wir bauen unsere aus 10 bis 12 mm dickem Sperrholz, obwohl sie bei kleineren, stark gekrümmten Rümpfen bis zu 6 mm dünn sein können. Unsere Schleifbretter sind auf den wirtschaftlichen Gebrauch von 280 x 190 mm großen Schleifpapierbögen ausgelegt: wir schneiden sie auf Längen von Vielfachem von 280 mm, bis zu 1.12 m. Die Breite der Blöcke liegt irgendwo zwischen 75 mm und 95 mm, damit in der Länge halbierte Schleifpapierbögen, abhängig davon, ob wir das Papier an den Kanten der Blöcke antackern oder mit Schleifscheibenkleber an die Fläche kleben, passen. wir bevorzugen den Kleber, da so mehr Fläche des Schleifpapiers arbeitet und der Wechsel etwas schneller geht. Während das 1,12 m lange Brett in den meisten Fällen nicht notwendig ist, stellt das 0,84 m lange Brett das Minimum für Rümpfe über 15 Fuß dar.

Wenn man den Rumpf klar lackieren möchte, will man auch jegliche tiefen Kratzer durch Sandpapier vermeiden, die man auf der fertigen Oberfläche sehen könnte. Kommt man dem allgemeinen Strak näher, steigt man auf Papier mit feinerer Körnung um. Dann schleift man auch mehr in der Richtung der Maserung, als quer dazu. Wenn man mit seiner Arbeit zufrieden ist, schleift man zuletzt mit einem kleineren Block. Man arbeitet dann nur noch in der Faserrichtung, um schräge Kratzer zu entfernen.

Selbst innerhalb einer Holzart kann es zu unterschiedlichen Abtragungsraten kommen. Holz geringerer Dichte läßt sich etwas leichter schleifen, als schwereres Holz und ein einziges Stück mit liegenden Jahresringen hat harte und weiche Bereiche, die nach dem Schleifen gerippt sein können. Diese Faktoren können zu leichten, aber schwer zu behebenden Unebenheiten beitragen. Fortgesetztes Schleifen verschlimmert die Probleme manchmal, da es das Material von den weicheren Zonen abträgt und leichte Wölbungen im Holz hinterläßt. Wenn dies auftritt, liegt die beste Lösung im Schleifen mit scharfem Schleifpapier, dies häufig auszuwechseln und dem großzügigen Gebrauch eines Blockhobels mit scharfer, fein eingestellter Klinge. Man kann diese Probleme häufig vermeiden, indem man für die letzte Lage eines lamellierten Rumpfes nur gute, gleichmäßige Furniere mit stehenden Jahresringen auswählt.

Bild 19.24 – Formverleimter Rumpf, der soeben von einem Leistenkern gehoben wird. Plastik-Schutzfolie ist am Heck des Blocks zu erkennen.

Entfernen der Rumpfschale vom Block

Bevor man den Rumpf umdreht, baut man die Ständer, in denen er fest steht. Damit die Ständer perfekt passen, deckt man den Rumpf mit einer Polyäthylenfolie ab und benutzt ihn als eine Form,

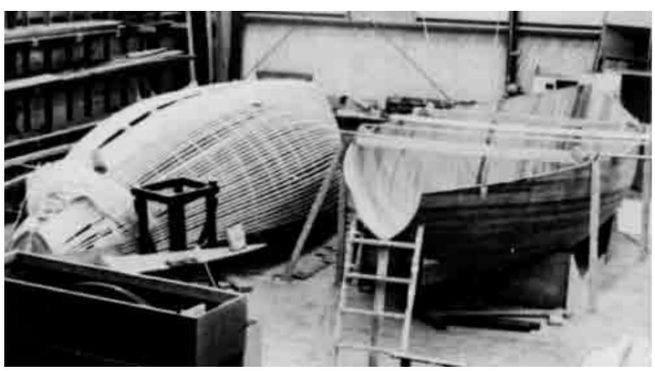


Bild 19.25 -Der Rumpf wird in den Ständer gesetzt und sofort über die Wasserlinie ausgerichtet. Provisorische Verstrebungen in Deckshöhe stabilisieren die Rumpfform während des Innenausbaus. Die Leiter am offenen Spiegel gewährleistet den leichten Zugang zum Rumpf.

über der man Furnier oder Sperrholz lamelliert oder Glasfasern laminiert. Hier kann man Abfallfurniere gut verwenden. Man formt zwei Auflagen, jeweils 100 bis 200 mm breit, die mindestens 25% des halben Spantumfangs ausmachen. Um den Anpressdruck zu erreichen, bis das Harz ausgehärtet ist, benutzt man Gewichte oder zurrt eine Leine um den Rumpf, fast wie man bei einem Pferd einen Sattel festzurrt. Wenn die Auflagen ausgehärtet sind, klebt man ein ausreichend dimensioniertes Gestell darunter, damit der Rumpf eng daran anliegen kann, wenn er umgedreht ist.

Es ist ziemlich einfach für eine Gruppe von Leuten, eine kleine, leichte Rumpfschale an der Deckskante zu fassen und sie so hoch zu heben, daß sie vom Block frei kommt. Falls die Schale zu schwer oder zu hoch gehoben werden muß, daß die Leute das nicht schaffen können, nimmt man einen Hebegurt und mechanische Hilfe in Anspruch. Normalerweise genügen vier U-Profile, die so groß sind, daß sie auf den Rand der Schale passen, als Hebepunkte. Jedes Teil sollte 300 mm oder länger sein, um die Last zu verteilen, damit das Holz nicht beschädigt wird. Man kann sie anschrauben, damit sie nicht wegrutschen können. Daran werden Leinen angeschlagen, die an der Hebevorrichtung befestigt werden.

Man hebt den Rumpf an, bis er frei vom Block hängt und setzt ihn dann auf dem Boden ab. Von einer Decksseite zur andern werden mittschiffs Querverstrebungen angebracht, die die Lasten tragen können, wenn der Rumpf gerollt wird. Dann rollt man den Rumpf in eine aufrechte Position. Mit genügend Leuten und Polsterung können die meisten formverleimten Rümpfe von Hand übergerollt werden. Siehe Kapitel 20 wegen Vorschlägen für das Umdrehen größerer Rümpfe.

Kapitel 20

Die Leistenbauweise zum Lamellieren von Rümpfen und die Leisten-Kompositbauweise

Die Leistenbauweise zum Lamellieren von Rümpfen ist eine Kreuzung zwischen der BlockMethode und traditionellen Leistenbeplankungstechniken. Mallspanten werden aufgestellt und massiv beplankt, normalerweise mit an den Kanten verklebten Weichholzleisten. Diese Helling wird dann mit Furnierlagen beschichtet. Die Leistenbeplankung wird zur inneren Lamellierung des fertigen Rumpfes. Wenn der Bau beendet ist, werden die provisorischen Mallspanten herausgenommen. Die steifen Schalenstrukturen, die mit dieser Bauweise gebaut werden können, erfordern bedeutend weniger innere Rahmen als andere Holzbootstypen.

Da die Art und Anzahl der Schichten von Material, die über die erste Lage von Leistenplanken lamelliert und unbegrenzt verändert werden können, gibt es unendlich viele Variationen. Diese Bauweise kann sowohl zum Bau von Einzelteilen wie zum Bau ganzer Rümpfe eingesetzt werden. In dieser Auflage von „The Gougeon Brothers on Boat Construction“ haben wir die Diskussion über die Leistenbauweise erweitert, um Betrachtungen über die *Leisten-Kompositbauweise,* eine der populären und vielseitigen Variationen, einfügen zu können.

Die Leisten-Kompositbauweise wird wohl beim Bau von Leistenkanus am häufigsten eingesetzt. Sie unterscheidet sich von der Standard-Leistenbauweise nur dadurch, daß anstelle der Furniere Glasfasergewebe innen und außen zur Beschichtung der Leistenbeplankung eingesetzt wird. Obwohl die Leisten-Verbundbauweise ein schneller und einfacher Weg zum Bau stabiler, steifer und leichter Rümpfe ist, war seine Anwendung bisher auf den Bau von kleinen Fahrzeugen und von Teilen wie Spieren und Kajütdächer beschränkt. Dies ist zum größten Teil darauf zurückzuführen, daß bis heute keine Dimensionierungsrichtlinien für Leisten-Kompositrümpfe aufgestellt worden sind.

Helling für die Leistenbauweise

Bei der Leistenbauweise verwenden wir genau wie bei der Block-Methode 16 mm starke Spanplatten-Mallen, welche die Form des Bootes bestimmen. Man stellt die Spanten genau wie bei der Block-Methode auf und bedeckt sie dann mit der Leistenbeplankung. Der einzige Unterschied ist, daß man besonders sorgfältig arbeitet, um die Schmiegen der Spanten korrekt einzuhalten. Harte Stellen können die Planken auf der Innenseite eindellen, während diese über die Spanten gebogen werden. Dieser Schaden ist möglicherweise im Innenraum sichtbar.

Für spezifische Stellung und Abstände der Mallspanten entscheidet man sich während der Schnürbodenarbeiten, wobei man die Lage von festen Schotten, Spanten und anderen Einbauteilen berücksichtigt, die die gewählten Positionen der Mallspanten stören könnten. Normalerweise bedeutet die Aufstellung eines Schotts, daß man einen Mallspant eliminieren kann, aber manchmal liegt ein Schott zwischen zwei Mallspanten , und es würde eine zu große Lücke entstehen, wenn einer entfernt würde. Daher soll man schon früh die Lage der festen Verbände, die als Form dienen können, mit der Lage der Konstruktionsspanten koordinieren, so daß man ein angemessenes Gerüst für die Leistenbeplankung mit der einfachsten Helling erzeugt.

Die Plankungsdicke und die Rumpfform bestimmen den Spantabstand. Bei einer 12 mm dicken Beplankung ist ein Abstand von bis zu 410 mm möglich. Spanten, die mit 25 mm starken Planken bedeckt werden, können bis zu 760 mm voneinander entfernt sein. Der durchschnittliche Abstand für 16 bis 22 mm starke Beplankung beträgt 460 bis 610 mm. Bei jedem Rumpf kann es Bereiche mit besonders starken Krümmungen geben, die durch den normalen Spantabstand nicht ausreichend genau definiert sind. Dort fügen wir normalerweise auf halbem Abstand zusätzliche

Spanten zwischen den normalen Spanten ein. Falls nicht zu viele starke Krümmungen vorliegen, geht dies schneller, als den allgemeinen Spantabstand zu verringern.

Bei der Leistenbauweise sind Kiel, Vorsteven und Spiegel immer in der Helling integriert, damit sie feste Bestandteile des Rumpfes werden. Das bedeutet, daß man Vorkehrungen treffen muß, Kiel und Vorsteven in die Mallspanten und in die Schotten und festen Spanten, die ebenfalls in der Helling enthalten sein können, einzulassen. Kiel und Vorsteven fixiert man provisorisch an den Mallspanten, indem man sie an Klötzchen festschraubt, die unter den jeweiligen Marken an den Mallspanten befestigt sind. Die Schraube hält Kiel oder Vorsteven dicht gegen die Mallspanten, bis die Mallspanten entfernt werden können. Dann kann man die Schrauben einfach lösen. Kiel und Vorsteven positioniert und verbindet man dauerhaft mit Schotten, Spanten oder anderen Einbauteilen mit Hilfe von legierten Holzschrauben.

Ein fester oder provisorischer Balkweger muß in der Helling enthalten sein, an dem die Planken in der Nähe der Seite Deck Linie befestigt werden können, insbesondere, wenn die Planken auslaufen beziehungsweise Seite Deck schräg kreuzen. Ohne die Planken von Hand anzupassen, ist es sehr schwer, die Beplankung genau parallel Seite Deck zu beenden. Wir installieren gewöhnlich feste Balkweger, obwohl das bedeutet, daß wir die Mallspanten häufig zersägen müssen, damit sie zu entfernen sind. Dies ist aber nur dann problematisch, wenn wir die Mallspanten für einen weiteren Bau verwenden möchten.

Offene Oberflächen der festen Balkweger und Spanten, sowie des Kiels und Vorstevens, oder anderer Einbauteile behandelt und schleift man, bevor man sie in die Helling einbaut. Die vorbehandelten Einbauelemente schützt man vor Beschädigung durch herabtropfendes Harz oder durch Schleifen, indem man sie mit Rohrleitungstape oder anderem strapazierfähigen Klebeband abdeckt.

Wenn man alle festen Verbände in der Helling eingebaut und das Straken der Mallspanten wie der übrigen Verbände beendet hat, ist die Helling bereit für die Leistenbeplankung. Während dieses Vorgangs soll die Beplankung dauerhaft mit den festen Elementen verbunden werden; aber man sollte jede Möglichkeit vermeiden, die zu einer festen Verbindung mit den Mallspanten führt. Dazu deckt man die Kanten der Mallspanten sorgfältig mit 1 bis 1,5 mm starken Plasikstreifen ab, die man auf beiden Seiten der Kanten in einiger Entfernung mit Klammern anheftet. Hat man das getan, kann man mit der Plankung beginnen.

Holz für den Leistenbau

Man wählt zunächst die praktischste Plankendicke. Die meisten Boote erfordern Leistenplanken zwischen 12 und 25 mm Dicke. Man dimensioniert die Beplankung nach folgenden Kriterien:
(1) der Größe und Breite des Bootes,
(2) den Abständen zwischen den festen oder den Mallspanten in der Helling,
(3) ob die gewählte Plankendicke sich über die stärksten Krümmungen biegen läßt, und
(4) dem effizientesten Nutzen aus dem verfügbaren Schnittholz.

Die Plankenbreite ist von zwei Faktoren abhängig. Da ist zunächst die Notwendigkeit, die Planken miteinander mit Dübeln oder Nägeln beim Kantennageln zu verbinden. Dies wird ab einer Breite von über 37 mm irgendwie unpraktisch: die größte von uns verwendete Breite betrug 32 mm. Die Flexibilität der Planken in der Breitenrichtung ist der zweite Faktor und eine wichtige Überlegung für ein schnelles Anbringen der Leistenbeplankung.

Falls man das rohe Holz, von dem man die Leisten sägt, aussuchen kann, schlagen wir Bretter mit liegenden Jahresringen vor, die stehende Jahresringe auf ihren Innen-und Außenseiten zeigen, nachdem sie aufgeschnitten sind. Leisten mit stehenden Jahresringen sind bei naturlackierten Innenräumen normalerweise attraktiver. Es gibt aber zwei bessere Gründe für ihre Anwendung: Planken mit stehenden Jahresringen sind stabiler als andere Planken und sie lassen sich gleichmäßiger schleifen und bearbeiten, als welche mit liegenden Jahresringen. Das Ausstraken der Oberflächen zum Lamellieren und abschließenden Bearbeiten geht daher etwas schneller.

Beim Sägen und Abrichten der Leisten sind genaue Abmessungen sehr wichtig. Diese Genauigkeit ist insbesondere in der Dickenabmessung entscheidend. Selbst eine Planke, die nur 0,8 mm dünner als ihre Nachbarplanken ist, führt zu einer Vertiefung entlang ihrer gesamten Länge, die man vor dem folgenden Lamellieren auffüllen muß. Das Sägen von genügend Planken für einen ganzen Rumpf ist eine große Aufgabe. Wir nehmen uns immer die Zeit, einen guten Sägevorgang einzurichten, indem wir sicherstellen, daß wir eine gute Zuführungsrampe zum leichten Bewegen der Planken zum Sägeblatt haben und eine gute Ablaufbahn, auf der das Holz liegt, wenn es aus der Säge kommt. Wann immer es uns möglich ist, setzen wir auch

Federspannung ein, die das Holz nach unten auf den Tisch und gegen die seitliche Führung drückt, damit wir nicht auf Handkraft angewiesen sind, um das Holz durch die Säge zu führen.

Meistens ist man nicht in der Lage, Planken von solcher Länge zu bekommen, daß sie über den gesamten Rumpf reichen. So muß man normalerweise mindestens eine, manchmal bis zu vier Schäftungen herstellen, damit man Planken erhält, die lang genug sind. Es ist wesentlich einfacher, die Planken zu schäften, bevor man sie anbringt, denn es kann ziemlich schwierig werden, die Planken vor Ort, insbesondere auf einem kurzen, breiten Rumpf zu schäften, während man sie über die Spanten biegt. Alle Schäftungen müssen exakt ausgeführt werden, nach den Anweisungen in Kapitel 10, so daß keine „Hundebeine“ , Kinken an der Schäftung oder Überlappungen entstehen, die die Plankendicke an den Verbindungsstellen vergrößern.

Zupassen und Schmiegen der Leistenplanken

Das Konzept, Rümpfe zu beplanken, ist mindestens einige tausend Jahre alt. Die Planken des traditionell karweelbeplankten Rumpfes werden Kante an Kante gestoßen. Die für die Karweelbeplankung entwickelten Techniken sind hinreichend bekannt. Da die Rümpfe in der Mitte breiter als an Bug und Heck sind, werden die Planken traditionell zu den Enden hin verjüngt, um diesen Abmessungsänderungen entgegenzuarbeiten. Und weil die Planken einzeln über einer runden Fläche angeordnet sind, ist es üblich, ihre Kanten abzuschrägen, damit sie flächig aneinander anliegen. Sowohl das Zupassen wie das Schmiegen sind langweilige, zeitraubende Arbeiten, die gutes handwerkliches Können erfordern.

Mit dem traditionellen Vorgehen können zwei Arbeiter, wenn sie Glück haben, fünf oder sechs Planken an einem Tag auf einem 12 m-Rumpf anbringen. Um den Plankungsvorgang zu beschleunigen und diese Bauweise einfacher zu machen, haben wir das Zupassen und das Schmiegen eliminiert. Wenn diese beiden Vorgänge nicht nötig sind, können zwei gut vorbereitete Leute bis zu 25 Planken in acht Stunden anbringen.

Anstatt die Planken anzupassen, wenn sich die Dimensionen im Verlauf des Rumpfes ändern, lassen wir sie an Kiel und Seite Deck wie beim Bau eines Blocks auslaufen. Sofern der Rumpf nicht sehr völlig ist, bietet diese Technik keine besonderen Schwierigkeiten, vorausgesetzt die Leisten sind schmal genug, sich leicht in Breitenrichtung zu biegen. Mit einer dicken WEST SYSTEM-Mischung ist das Schmiegen aus strukturellen Gründen normalerweise nicht notwendig. Diesen Vorgang zu eliminieren spart eine ganze Menge Zeit. Wenn man eine Beplankung von innen betrachtet, sind die Fugen der meisten Rümpfe dicht und sehen wie geschmiegt aus.

Aufbringen der Leistenbeplankung

Wie man sich vorstellen kann, ist das Plazieren der ersten Planke von größter Wichtigkeit, da die Lage dieser Hauptplanke die Richtung und das Ausmaß der Krümmung der folgenden Beplankung bestimmt, die sich Kiel oder Balkweger nähert. Eine falsche Position dieser Planke könnte bei der Beplankung, die sich der Seite Deck nähert, zu starke Krümmungen verursachen, sogar bis sie sich nicht mehr korrekt anbringen läßt, während sich die Plankung, die sich dem Kiel nähert, vielleicht gar nicht krümmt. Das Ziel ist deshalb, die Hauptplanke ungefähr entlang der Mitte der Seite in einer Kurve zu führen, die die beiderseits angebrachte Beplankung gleichstark biegen läßt. Die einfachste Methode, die Position der Hauptplanke zu bestimmen, ist die Ermittlung von Mittelpunkten auf mehreren Spanten entlang des Rumpfes. Diese Punkte ermittelt man, indem man vom Hauptspant bis zu den Rumpfenden jeweils entlang des Spantumfangs die Abstände zwischen Kiel und Balkweger mißt. Dabei läßt man zunächst die ersten paar Spanten an Vorsteven und Spiegel unberücksichtigt, da sich die Rumpfform dort meistens so stark ändert, daß man keine verläßlichen Informationen

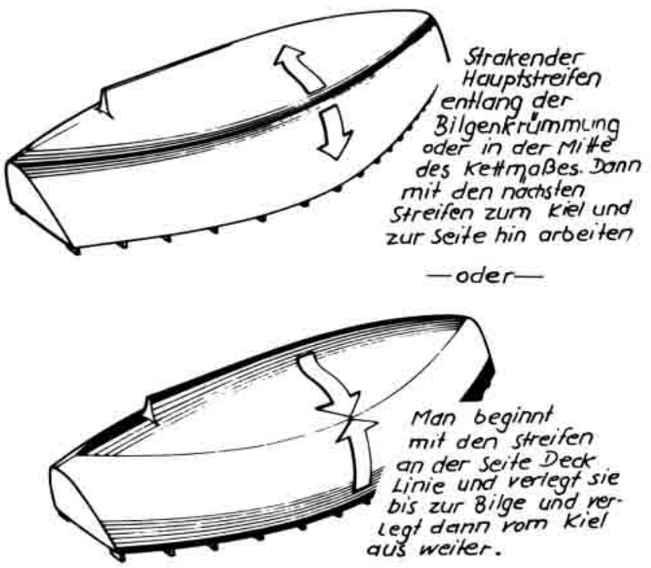

Strakender Hauptstreifen entlang der Bilgenkrümmung oder in der Mitte des Kielmaßes. Dann mit den nächsten Streifen zum Kiel und zur Seite hin arbeiten
—oder—
Man beginnt mit den Streifen an der Seite Deck Linie und verlegt sie bis zur Bilge und verlegt dann vom Kiel aus weiter.

Bild 20.1 – Zwei vorgeschlagene Methoden zum Leistenbeplanken von Rümpfen.

über das allgemeine Verhalten des Rumpfes erhält. Wenn man an jedem Konstruktionsspant einen solchen Punkt, der gleichweit vom Kiel und vom Balkweger entfernt ist, ermittelt hat, legt man entlang der Markierungen eine Latte, die man provisorisch festnagelt. Vom Auge geleitet, bewegt man die Latte wo es notwendig ist, um eine strakende Kurve zu erhalten, die den Markierungen am nächsten kommt. Die Kurve der Latte kann man über die nicht gekennzeichneten Bereiche an Bug und Heck in einer strakenden Kurve verlängern.

Ist diese Latte installiert, kann man sich einen besseren Eindruck über den Verlauf der Plankung auf dem Rest des Rumpfes verschaffen. Man mißt an verschiedenen Punkten der Spanten von der Latte aus nach oben oder unten, um ein Gefühl dafür zu bekommen, wie die Beplankung in der Nähe von Kiel und Balkweger aussieht. Wenn man die Richtung der Plankung ermittelt, versucht man die stärksten Krümmungen des Rumpfes ausfindig zu machen und entwickelt den Winkel der mit ihnen am besten fertig wird. Dann vergleicht man dies mit dem Winkel des Hauptfurniers. Ein weiterer Faktor, der die Lage der Hauptplanke beeinflußt, ist die Stärke der räumlichen Krümmung in der Nähe der Seite Deck im Vergleich zur Krümmung am Kiel. Die Unterwasserschiffe sind normalerweise stärker gekrümmt als die Seiten, und das könnte anzeigen, daß die Hauptplanke mehr in Richtung Seite Deck gekrümmt werden sollte, wo die Planken aufgrund der geringeren räumlichen Krümmung leichter in der Breitenrichtung gebogen werden können.

Wenn man die Latte entsprechend seiner Anforderungen an die Hauptplanke ausgelegt und ausgerichtet hat, zeichnet man ihre Lage auf den Spanten an und installiert die Hauptplanke entlang dieser Markierungen. Obwohl es normalerweise so gehandhabt wird, braucht die Hauptplanke nicht unbedingt auf dieser mittleren Position eingebaut werden. Man kann die Hauptplanke überall über oder unter der Mittelmarkierung, die man mit der Latte erhalten hat, plazieren, aber sie muß an jedem Spant gleichweit von den Markierungen entfernt sein und parallel dazu verlaufen, so daß die Planken im Gebiet der Markierungen später entlang dieser Zeichen verlaufen.

Falls man erkennt, daß eine Rumpfform für diesen Plankungsvorgang nicht gut geeignet ist (wenn der Rumpf zum Beispiel zu völlig ist), kann man das in zwei Richtungen laufende Plankungssystem anwenden. Bei diesem System läßt man die Planken parallel zur Seite Deck verlaufen, bis der Rumpf zu stark gekrümmt ist. Dann trägt man die zweite

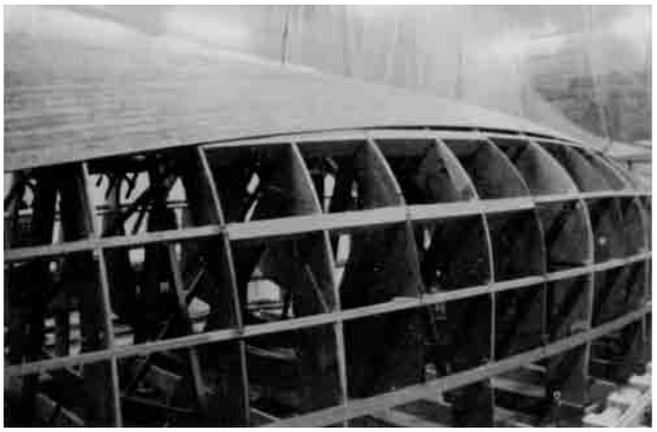


Bild 20.2 – Leistenbeplankung eines Blocks.

Gruppe der Beplankung parallel zum Kiel auf und verbindet sie mit der parallel zur Seite Deck verlaufenden Gruppe an einer zentralen *Verbindungsplanke.* Die zwei Plankungsrichtungen an der Stelle, wo sie ineinander laufen, zu verbinden, ist schwierig, ohne einen Knick zu erzeugen. Diese Schwierigkeit ist nicht unüberwindbar, aber das in zwei Richtungen laufende Plankungssystem nimmt eine Menge zusätzlicher Zeit in Anspruch, als das einfache System, bei dem nur wenig oder gar nicht angepaßt werden muß.

Auftragen von WEST SYSTEM Epoxidharz

Vorausgesetzt, man möchte die Bodenbeplankung parallel zum Kiel und die Seitenbeplankung parallel zum Balkweger, also in einem in zwei Richtungen verlaufenden Plankungssystem anbringen, und man hat die Helling exakt angezeichnet, um die Hauptplanke aufzunehmen, dann befestigt man die Hauptplanke provisorisch mit Schrauben, die doppelt so lang sind wie die Dicke der Beplankung an den Mallspanten. Dazu verwenden wir preiswerte Blechschrauben mit großen Unterlegscheiben, damit wir mehr Druck aufbringen können, ohne das Holz zu beschädigen. Mallspanten aus Spanplatten erfordern längere Schrauben als hölzerne, da sie eine geringere Haltekraft aufweisen. In Bereichen, in denen man zusätzliche Kraft benötigt, schraubt oder klammert und klebt man Holzklötze an die Seiten der Mallspanten und befestigt die Beplankung daran. Stufenbohrer, die gleichzeitig ein Pilotloch in den Spant und eine Bohrung vom Durchmesser des Schraubenschafts bohren können, ersparen den zusätzlichen Schritt, den Bohrer zu wechseln oder abwechselnd zwei Bohrmaschinen zu verwenden.

Um die Beplankung an den festen Spanten zu befestigen, nimmt man am besten legierte Schrauben und mit dichtem Zuschlagstoff angedicktes Epoxidharz. Diese Schrauben läßt man im Rumpf. Sie werden so tief versenkt, daß sie beim Straken nicht stören. Man verwendet zwei verschiedene Arten und vermutlich auch verschiedene Größen, eine, um die Beplankung an den Mallspanten zu befestigen, die andere für die festen Spanten. Zwei elektrische Bohrmaschinen mit verschiedenen Bohrern sparen hier Zeit.

Wenn man die Hauptplanke angebracht hat, entwickelt man einen Vorgang, mit dem man die restliche Beplankung schnell und einfach anbringen kann. Man zeichnet die Leisten so an, daß ihre Markierungen mit dem Hauptspant übereinstimmen, damit man sich keine Gedanken machen muß, ob die Planken mittig ausgerichtet sind.

Verwendet man Weichholz, wie Cedar, nimmt man leichte Zuschlagstoffe zum Epoxidharz, um einen dicken Sirup herzustellen. Diese Kombination überschreitet die Spaltfestigkeit der meisten Weichhölzer bei weitem. Wenn man aber mit schwereren Hölzern mit höherer Festigkeit, wie Mahagoni, arbeitet, benutzt man den Zuschlagstoff von großer Dichte, um eine stärkere Epoxidharzmischung zu machen.

Haltevorrichtungen erleichtern das Auftragen des Harzes, indem sie die Planken aufrecht halten. Diese bauen wir aus 12 mm Sperrholz, das mit Schlitzen versehen wird, in die die Leisten gerade passen. Wir nageln sie an Sägeböcke, und stellen so viele auf, daß die Planken gut unterstützt werden. Eine gute Arbeitshöhe ist ungefähr 900 mm über dem Fußboden.

Das Auftragen von Epoxidharz auf die Kanten einiger hundert Planken nimmt einen großen Teil der Zeit einer Rumpfbeplankung in Anspruch. Daher benötigt man eine schnelle, effektive und saubere Methode zum Mischen und Auftragen des Klebers auf die Kanten. Im Laufe der Zeit fanden wir es am besten, die Harzmischung mit einem ca. 25 mm breiten Spatel zu verteilen. Wir mischen das Epoxidharz in einem Gefäß, wie dem WEST SYSTEM NT. 805 Mixbecher, wobei wir nur etwa die Menge eines Drittels des Bechers zur Zeit anrühren. Dann streichen wir eine gleichbleibende Menge mit dem Spatel an die Kante der Planken. Wenn das Harz so dünn ist, daß es von dem Stab und vielleicht auch von der Planke läuft, muß es mit mehr Füllstoffen angedickt werden.

Nachdem man das angedickte Harz auf eine Kante einer Planke aufgetragen hat, bestreicht man die Kante der Planke,. die bereits angebracht worden ist mit einem dünnen Film Standard-Epoxidharz. Dies kann man mit einer passend abgelängten Schaumrolle schnell erledigen. Man bringt die zuvor gezeichnete Markierung der Plankenmitte mit dem Hauptspant in Übereinstimmung. Wenn der Rumpf sehr groß ist, wird das Anbringen einer Planke für eine Person schwierig, ohne dabei schmutzig zu werden. Idealerweise arbeiten zwei oder drei Leute zusammen. Wenn man aber nicht so viele Helfer hat, muß man sich ein paar justierbare Ständer bauen, die die Kante der Planke in der richtigen Höhe halten, während man sie in der Mitte befestigt. Kommt man mit dem Befestigen zu den Enden des Rumpfes, bewegt man die Ständer nach innen und entfernt sie dann.

Sprechen wir von der Planke, die angebaut werden soll, als der *Klebeplanke* und von der bereits befestigten Planke als der *festen Planke.* Man fängt damit an, die Klebeplanke mittschiffs dicht an der festen Planke anzubringen. Eine Schraube wird durch die neue Leiste in den Mallspant gesetzt. Dann läßt man einige Spanten, abhängig von der Bootsgröße, aus und setzt eine weitere Schraube in einen Mallspant. Man hält dabei die Klebeplanke dicht gegen die feste Planke, sodaß sich die bestmögliche Passung ergibt, wenn man sie anschraubt. Nachdem man sie an mehreren Spanten beiderseits des Hauptspants befestigt hat, ist die Klebeplanke gut zu beherrschen und läßt sich leicht an den übrigen Spanten befestigen. Hat man genügend Epoxidharz auf die neue Planke aufgetragen, sollte jetzt etwas davon herausquellen. Das meiste davon dringt aufgrund der verjüngten Spalten zur Außenseite, aber etwas wird trotzdem auf der Innenseite erscheinen. Den überschüssigen Kleber entfernt man auf beiden Seiten, bevor er hart geworden ist.

Befestigung der Kanten

Es ist üblich, daß man Versetzungen zwischen den Planken in den Bereichen *zwischen* den Spanten hat. Um diese Versetzungen auf einem Minimum zu halten, sollte man die Leisten in einer natürlichen Kurve über den Rumpf biegen lassen. Die Plankenversetzungen kann man leicht durch Nageln der Kanten mit Hilfe von 3 mm-Holzdübeln korrigieren. Während man Nägel anstelle von Holzdübeln verwenden könnte, sind Holzdübel aus verschiedenen Gründen zu bevorzugen. Da die Rumpfschale sowieso überlamelliert wird, ist die zusätzliche Querfestigkeit, die durch Nägel vielleicht erreicht würde, nicht erforderlich. (Holzdübel können ebenfalls exzellente Querfestigkeit herstellen, wenn sie geklebt werden.) Von den Hunderten von Nägeln, die im

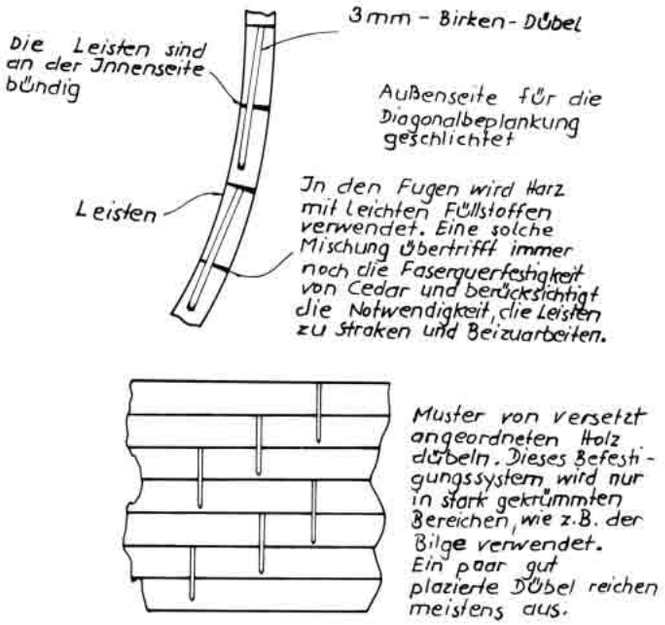

3mm - Birken - Dübel
Die Leisten sind an der Innenseite bündig
Außenseite für die Diagonalbeplankung geschlichtet
Leisten
In den Fugen wird Harz mit leichten Füllstoffen verwendet. Eine solche Mischung übertrifft immer noch die Faserquerfestigkeit von Cedar und berücksichtigt die Notwendigkeit, die Leisten zu straken und Beizuarbeiten.
Muster von versetzt angeordneten Holz dübeln. Dieses Befestigungssystem wird nur in stark gekrümmten Bereichen, wie z.B. der Bilge verwendet. Ein paar gut plazierte Dübel reichen meistens aus.

Bild 20.3 – Dübeln von Leisten zur Verhinderung von Versetzungen.

Rumpf gebraucht werden könnten, würde ein kleiner Prozentsatz unweigerlich an den Seiten durchbrechen. Dies ist insbesondere bei Rümpfen deren Innenseiten naturlackiert werden sollen ein Problem, da die Nägel nicht nur sichtbar, sondern auch schwierig beizuschleifen oder zu entfernen sind. Falls ein Holzdübel aus der Plankung läuft, ist er leicht beizuschleifen und nicht besonders störend.

Zum Ausrichten der Planken zwischen den Spanten, hält man die Klebeplanke und die feste Planke zwischen Daumen und Zeigefinger, so daß sie exakt fluchten. Dann bohrt man ein 3 mm-Loch durch die Kante der einen Planke in die nächste. Und so arbeitet man die Planke zwischen den Spanten ab, bis man sämtliche Löcher gebohrt hat, wobei man die Planken perfekt ausgerichtet hält. Die Bohrungstiefe sollte $1^1/_2$ mal die Plankenbreite sein. Abhängig vom Abstand der Spanten, benötigt man zwischen einem und vier Dübel, um die Planken gut fluchtend zu halten, bis der Kleber aushärtet. Das Loch für die Dübel bohrt man leicht unter Maß, damit sie eng sitzen und die Leisten auch noch aneinander ziehen. Wenn möglich, kann eine zweite Person dem Bohren folgen und gleich die Dübel einfügen, während sie die Planken zusammenhält, damit die Löcher wieder fluchten.

Gelegentlich haben die Dübel nicht genügend Kraft, um eine abtrünnige Klebeplanke dicht an der festen Leiste zu halten. Abgesehen von einer unansehnlichen Lücke läßt dieses Problem die Plankung aus dem Strak geraten. Um dies zu beheben, heftet man einen Sperrholzstreifen an die Klebeplanke und hält sie fest, um die Lücke zu schließen. . Das andere Ende des Sperrholzstreifens heftet man dann an die nächsten zwei oder drei Planken, die man schon befestigt hat.

Nachdem man drei oder vier Planken angebracht hat, nimmt man sich die Zeit, den überflüssigen Kleber, der innen und außen aus den Verbindungen gequollen ist, zu entfernen, wobei man die Innenseite besonders sorgfältig reinigt, um sich später Arbeit zu sparen. Nach der Reinigungsaktion überprüft man anhand der Kantenverbindungen, ob die Beplankung wirklich richtig fluchtet und in sauber strakenden Linien ohne Buckel und Senken verläuft. Außerdem sollte man die Kante der zuletzt befestigten Planke prüfen, ob sich auch keine Buk-

Bild 20.4 – Leistenbeplankung eines 12,83 m-Rumpfes. Diese Leisten werden von einer Hauptplanke an der Bilge bis zum Kiel verlegt.

Bild 20.5 – Die Verbindungsnaht entlang des Kiels des in Bild 20.4 gezeigten 12.83 m-Rumpfes. Man beachte die Schraubenlöcher, wo die Planken am Block befestigt sind.

Bild 20.6 – Lamellieren der ersten Fumierschicht über die gestrakten Leisten. Beachte die Plankungsbank rechts.

kel oder ungewöhnlichen Kurven entwickeln, die beim Anbringen der nächsten Planken Schwierigkeiten machen. Wenn sich tatsächlich eine Unebenheit entwickelt, ist es am besten, diese vor der nächsten Plankung auszustraken.

Gegen Ende des Beplankens können Schwierigkeiten auftreten, falls die Planken sich extrem in der Breitenrichtung krümmen, und sich nur schwer an ihrem Platz fixieren lassen. Wird dieses Problem zu groß, kann man ein oder zwei maximal verjüngte Planken einfügen, um die Stärke der Krümmung in Breitenrichtung zu verringern. Dazu zeichnet man die maximal zur Verfügung stehende Verjüngung mit Hilfe einer starken Straklatte in einer gleichmäßigen Kurve von der Mitte bis zu Punkten an den Enden der Leisten an.

Obwohl die Plankung in den meisten Bereichen des Rumpfes einfach ausläuft und keine Anpassung erfordert, stößt die Plankung der einen Seite ab einem bestimmten Punkt entlang des Kiels die Planken der anderen Seite. Sorgfältig schneidet man eine saubere, gerade Kante entlang der zuerst gefertigten Seite, parallel zur Mittellinie des Kiels, so daß eine gut definierte Fläche entsteht, an der die Planken der anderen Seite dann angepasst werden.

Furnierlamellierungen

Nachdem man die gesamte Beplankung angebracht hat, bereitet man sie für die folgenden Furnierlamellierungen vor, als ob man einen Block bearbeitet. Zunächst sieht man nach, ob alle provisorischen Blechschrauben entfernt und alle bleibenden Schrauben gut versenkt sind. Als nächstes trimmt man alle Leisten, die an der Seite Deck, dem Vorsteven oder dem Spiegel auslaufen, so daß man eine grob umrissene Oberfläche hat, auf der man lamellieren kann. Die Beplankung läßt man aber lieber ein paar Zentimeter über die Seite Deck Linie laufen, als sie direkt daran abzuschneiden, um ein bißchen zusätzliche Fläche zur Druckerzeugung für die Furnierlamellierung zu erzeugen. Später, wenn die Lamellierung beendet ist, kann man die Beplankung glatt abschneiden.

Bevor man schleift oder strakt, überprüft man die leistenbeplankte Oberfläche auf Lücken und Unebenheiten in der Beplankung oder den Verbindungsfugen. Diese Unebenheiten und die Schraubenlöcher an den Mallspanten füllt man mit einer dicken Mischung mit leichten Zuschlagstoffen auf. Man strakt den Rumpf grob, und beginnt dann mit dem Lamellieren des Furniers.

Bild 20.7 – Lamellieren der zweiten Fumierlage auf den Innenraum, in dem die Arbeit weitergehen kann, während die Rumpf.

Bild 20.8 – 12,80 m-Rumpf, aus dem die Mallspanten entfernt sind. Der Rumpf wird von den festen Schotten getragen, die in der Helling aufgestellt wurden. Man beachte den sauberen Innenraum, in dem die Arbeit weitergehen kann, während die Außenseite fertiggestellt wird.

Man kann das Furnier genauso auf den Rumpf lamellieren, wie für die Block-Methode in Kapitel 19 beschrieben; mit der Ausnahme, daß man bei der Leistenbauweise auch bei der ersten und zweiten Lage schon legierte Klammern verwenden kann, die man nicht entfernen muß. Die Klammern drin zu lassen, spart Zeit und macht die Leistenbauweise zu einer praktischen Technik.

Mit der ersten Furnierlage beginnt man in der Mitte des Rumpfes, wobei man eine leichte Klebermischung zum Verleimen mit der Leistenbeplankung benutzt. Die Klammern werden versenkt, so daß sie beim groben Straken für die zweite Schicht nicht hinderlich sind. Man kann die mechanische Anpassmethode bei dieser und folgenden Lagen anwenden und so den Vorgang ziemlich beschleunigen. Der Leistenbau-Rumpf ist eine ideale geschlossene Form zum Lamellieren: man findet heraus, daß man alle Furnierschichten schnell und effektiv lamellieren kann, vermutlich in weniger Zeit als die ganze Leistenbeplankung gabraucht hat. Die Qualitätsoberfläche der Form trägt auch zu einer im Strak bleibenden Oberfläche bei, die wenig Arbeit zwischen den Furnierschichten erfordert, bei bis zu vier oder fünf Lagen.

Die provisorischen Mallspanten kann man während des Baus ab einem Zeitpunkt aus dem Rumpfinnern entfernen, wenn man genügend Furnierlagen aufgebracht hat, daß die Schale sich gut selbst trägt. Es ist möglich, die Mallspanten zu zerlegen, aber wohl schneller, sie vorsichtig, ohne den Rumpf zu beschädigen, herauszusägen. Möglicherweise hat man genügend Schotten und feste Spanten in der Helling, die den Rumpf tragen; aber wahrscheinlich muß man Balkweger, Vorsteven und Spiegel stützen, damit die Last verteilt werden kann. In dieser Phase schneidet man selbstverständlich die Stützen der festen Spanten nicht ab.

Bild 20.9 – Stapellauf einer 12,80 rn-Yacht. Die Naturlackierung hebt die in Längsrichtung verlegte letzte Fumierschicht hervor.

Abschließendes Schlichten

Wenn man die provisorischen Spanten entfernt hat, kann man gleichzeitig an der inneren und der äußeren Oberfläche arbeiten. Es ist normalerweise einfacher, die innere Beplankung zu schleifen, wenn der Rumpf auf dem Kopf liegt, weil dann der Schleifstaub auf den Fußboden fällt, anstatt sich auf dem Rumpfboden niederzuschlagen. Dazu installiert man gute Beleuchtung und Belüftung und trägt Atemschutzmasken. Falls man es bisher noch nicht getan hat, deckt man die vorbehandelten Teile mit Tape ab, um sie vor herunter tropfendem Harz und Beschädigung während des Schleifens zu schützen.

Wir benutzen einen Polierer mit 80er Schleifpapier auf einem weichen Schleifteller, um die Innenseite der Beplankung grob zu schleifen und zu straken. Wenn die Oberfläche insgesamt glatt ist und strakt, schleifen wir abschließend mit einem Tellerschleifer und 100er Schleifpapier, bis die Oberfläche glatt genug ist, einen Grundierungsanstrich WEST SYSTEM Epoxidharz zu erhalten.

Obwohl dies nicht absolut notwendig ist, kann man den gesamten Innenraum schon vorbehandeln, wenn der Rumpf noch auf dem Kopf liegt. Nach unserer Erfahrung sind sämtliche Schleif- und Anstrichtätigkeiten in dieser Rumpfstellung viel leichter durchzuführen, als in einer aufrechten Position. Ein guter Anteil der Inneneinrichtung kann leicht in einem auf dem Kopf stehenden Rumpf eingebaut werden, wie noch in Kapitel 24 ausführlich besprochen wird. Genau wie bei Block-Methoden Rümpfen ist es effektiver, die meisten abschließenden Außen arbeiten, einschließlich der Glasfaserbeschichtungen, Anstriche und des Schleifens, durchzuführen, bevor der Rumpf umgedreht wird.

Dann baut man einen Ständer, wie in Kapitel 19 beschrieben, als Vorbereitung zum Umdrehen. Im Unterschied zu einem formverleimten Rumpf, den man zunächst anheben und über den Block bringen muß, bevor man ihn umdrehen kann, wird ein leistenbeplankter Rumpf einfach umgedrückt, wobei man Matratzen und mit Teppichen abgedeckte Reifen zum Abfedern benutzt. Man beginnt damit, eine Seite kontinuierlich anzuheben, Während man den Rumpf fortlaufend abstützt. Wenn man die

Bild 20.10 – Leistenkanus gebaut von Hersehel Payne. Western Red Cedar und WEST SYSTEM Epoxidharz wurden bei beiden Booten verwendet. Das 4,50 m-Modell wiegt 14,7 kg und das 5,40 m lange wiegt 22 kg.

Seite bis zu einem Winkel von ca. 60° angehoben hat, befestigt man Leinen am Balkweger, einige in die Rollrichtung und einige in die entgegengesetzte Richtung, so daß die Leute, die sie auf beiden Seiten des Rumpfes halten, den Rumpf unter Kontrolle haben. Sofern der Rumpf nicht ungewöhnlich groß ist, können ein paar Leute ihn herüberziehen, während die anderen, die die Leinen auf der anderen Seite halten, diese um Pfosten oder schwere Maschinen wickeln und so die Fallgeschwindigkeit abbremsen, bis der Rumpf auf seinem Boden liegt. Als nächstes stellt man den Rumpf auf seinen Ständer und richtet ihn nach den Wasserlinien waagerecht aus, so daß man den Inneneinbau fertigstellen und das Deck aufbringen kann.

Leisten-Kompositbauweise

Die Anwendung der Leisten-Kompositbauweise war bisher auf den Bau von Leistenkanus, Ruderbooten, Prahmen und Dinghies beschränkt. Obwohl die Festigkeit und Steifigkeit von Leistenkanus seit Jahren in der Praxis erwiesen sind, sind Leisten-Verbundbauten bis jetzt noch nicht kontrollierten Tests unterzogen worden. Es gibt keinen Datenkomplex, den man zur Konstruktion von anderen Kleinfahrzeugen mit der Leistenverbundbauweise heranziehen könnte.

Wir hoffen, daß sich diese Situation ändert. Die Leistenkompositbauweise hat einige sehr interessante Merkmale. Anpassen von Furnieren ist nicht notwendig und es werden ausschließlich Mallspanten verwendet, so daß diese Methode sehr schnell ist. Diese Technik funktioniert bei gewölbten Rümpfen gut und ergibt starke und steife kleine Fahrzeuge bei geringem oder keinem inneren Rahmenwerk.

Mit dem Ziel, ihre Anwendungsmöglichkeiten zu erweitern, haben wir uns bemüht, verschiedene Aspekte der Leisten-Kompositbauweise zu erforschen. Unser Ansatz war, die Beziehungen zwischen verschiedenen Gewichten und Anzahlen von Glasgewebeschichten zu beurteilen und die Verhältnisse zwischen diesen und verschiedenen Holzkerndicken in Bezug auf Steifigkeit, beste Festigkeit und bestes Gewicht zu erforschen. Die von uns erzielten Resultate geben vorläufige Vorschläge über die besten Methoden, Festigkeit und Steifigkeit in Leisten-Verbund-Rümpfe zu bringen.

Glasfasergewebe wird bei der Leisten-Verbundbauweise dazu eingesetzt, der Holzbeplankung Fe-

stigkeit quer zur Faser zu geben. In traditionellen Methoden dienen dicht gesetzte Rippen dieser Funktion. Während zwei Gewebelagen und 6 mm Beplankung für ein Kanu ausreichen, ist dieser Plan für größere Rümpfe nicht ausreichend. Zwei Ansätze zur Vergrößerung von Festigkeit und Steifigkeit sind zusätzliche Lagen Glasfasergewebe und Vergrößerung der Plankungsdicke. Wie unsere Tests zeigen, rechtfertigt sich zusätzliche Glasfaser auf einem Rumpf bis zu einem bestimmten Punkt durch einen unverhältnismäßig hohen Anstieg von Festigkeit und Steifigkeit bei gleichzeitiger Gewichtszunahme.

Unsere Daten sind zum Zwecke der Einordnung der Materialien gedacht und erlauben keine Vorhersage darüber, ob sich ein bestimmtes Material in der Praxis bewährt. Bild 20.11 zeigt die Auswirkungen vergrößerter Plankungsdicke bei einem typischen Aufbau von Leistenkanus. Die Daten von 6 mm Gabun-Sperrholz ohne Glasfasergewebe sind zur Kontrolle angegeben. Andere Tests haben gezeigt, daß die Schlagfestigkeit eines Verbundes deutlich durch die Verstärkung mit Glasfaser- oder Aramidgewebe sowohl auf der inneren wie der äußeren Oberfläche erhöht werden kann.

Bau eines Leistenkanus

Es gibt exzelente Veröffentlichungen mit detaillierten Anleitungen für den Bau von Leistenkanus mit WEST SYSTEM Epoxidharz. Wenn Sie Probleme haben, ein Buch darüber zu finden, rufen Sie uns bitte wegen der Quellenangabe an. Der folgende kurze Abriß stellt eine der vielen Variationen dieser Methode vor.

Die Helling für ein Leistenkanu ist nicht wesentlich anders, als eine Helling für einen Leistenbau-Rumpf. Man kann eine Standardbohle verwenden, aber für den Bau eines 5 m langen Kanus reicht eine U-förmige Basis aus zwei 50 x 100 mm und einem 50 x 150 mm Brett aus. Darauf stellt man Mallspanten und die Steven auf, die die Rumpfform beschreiben und bolzt sie an den Balken. Man strakt die Helling und klebt dann die Kanten der Mallspanten ab oder überzieht sie mit Plastikstreifen, so daß sie nicht am Rumpf festkleben.

Viele Leistenkanus sind mit Western Red Cedar beplankt und innen und außen mit 110 g oder 160 g Glasfasergewebe beschichtet. Einer der effektivsten Wege zur Aufbereitung des Lagerholzes für die Plankung ist es, nominell 20 mm dicke Bretter mit

300 mm große quadratische Probestücke von verschiedenen Kombinationen aus Western Red Cedar und Glasfasergewebe wurden gewogen und ansteigenden Lasten bis zum Bruch ausgesetzt. In allen Fällen ist 170 g Gewebe auf beiden Seiten der Probekörper aufgebracht worden. Das Ziel dieses Experiments bestand darin, die relativen Auswirkungen der Holzkerndicke und des Glasfasergewebeanteils auf Festigkeit, Steifigkeit und Gewicht einer Leisten-Verbundkonstruktion zu messen. Die Probekörper wurden zwar mit zusätzlichen Glasfaser- und Epoxidharzschichten schwerer, bis zu einem bestimmten Punkt stiegen die Festigkeit und die Steifigkeit aber gegenüber dem Gewicht unverhältnismäßig an. Um die Ergebnisse mit konventionellen Materialien vergleichen zu können, testeten wir außerdem ein Probestück aus 6 mm Gabun-Sperrholz, das nicht mit Glasgewebe beschichtet war. Das Sperrholzprobestück versagte bei 999 N, wog 0,303 kg und zeigte eine Durchbiegung von 16 mm.

Cedar Plankungsdicke (in mm)	Mittlere Last beim Bruch (in N)	Mittleres Gewicht (in kg/m2)	Mittlere Durchbiegung beim Bruch (in mm)
4,77	952,26	2,44	18,58
6,36	983,45	2,99	12,47
7,95	1334,95	3,54	12,21
9,54	1326,02	3,99	8,14

Bild 20.11 – Vorläufige Testerxebnisse von Leisten-Verbundbau-Probestücken.

liegenden Jahresringen zu kaufen und diese in 6 x 20 mm-Leisten mit stehenden Jahresringen aufzuschneiden und dann auf Längen zu schäften. Abhängig vom Design brauchen nur ca. 30% der Leisten die volle Rumpflänge zu erreichen.

Man beginnt mit der Plankung des Kanubodens in Längsrichtung an der Mittellinie, sich nach außen arbeitend. Die Kanten werden mit einer angedickten leichten Epoxidharzmischung geklebt und man verwendet Klammern zum Heften, bis das Harz ausgehärtet ist. An den Mallspanten können auch Drahtstifte oder Finishnägel benutzt werden. Die fertige Bodensektion eines Kanus sieht schließlich aus wie ein Football.

Wenn der Boden beplankt ist, beginnt man mit den Seiten. Bei den meisten Kanus verlaufen diese und die Bodenplanken in verschiedenen Winkeln; folglich muß die Planke, die beide Bereiche miteinander verbindet, besonders angepaßt werden. Man beginnt mittschiffs und arbeitet von da nach vorne und hinten. Die Leisten sollten am Bug, über der Wasserlinie höher als am Hauptspant liegen. Die letzte Planke zeichnet man an und paßt sie am Unterwasserschiff ein.

Die Klammern und Nägel werden entfernt, sobald das Epoxidharz ausgehärtet ist. Man strakt das Kanu zuerst mit einem Blockhobel und dann mit einem 300 mm langen Schleifbrett. Wenn man zufrieden ist, reinigt man die Oberfläche und trägt eine erste WEST SYSTEM Epoxidharzschicht auf. Diese läßt man aushärten, schleift danach leicht über, reinigt die Fläche erneut und bringt eine Lage 110 oder 160 g-Glasfasergewebe auf.

Zum Auftragen des Gewebes wendet man die trockene Methode an, wie sie in Kapitel 12 beschrieben wurde. Man passt das Gewebe an, schneidet es zurecht und legt es über den ganzen Rumpf. Fertig gemischtes Harz gießt man auf die Fasern und verteilt es mit einem Plastikspachtel. Das Glas sollte klar, aber etwas glanzlos werden.

Wenn die erste Gewebelage ausgehärtet ist, trägt man auf dem Boden eine weitere Schicht auf, läßt sie aushärten und schleift sie leicht über, wobei man die Ränder des Gewebes ausdünnt. Man beschichtet den Rumpf so oft wie nötig, um die Struktur der Glasfasern aufzufüllen. Nachdem das Harz ausgehärtet ist, schleift man wieder mit Schleifpapier, erst mit 80er, dann mit 120er Körnung, bis die Oberfläche glatt und stumpf ist.

Nun baut man einen Ständer. Die Mallspanten werden losgeschraubt und umgedreht, damit das Kanu befreit wird. Dann dreht man das Boot um und stellt es in den Ständer. Die Innenseite wird mit dem Tellerschleifer mit einer weichen Schaumscheibe sowie mit einem Schleifbrett wo nötig geschliffen. Man bringt Glasfasern auf der Innenseite an, genau wie an der Außenseite, eine Gesamtschicht und eine zusätzliche Lage im Bodenbereich.

Man legt den Balkweger ein und trimmt ihn auf die richtige Form, lamelliert Scheuerleisten und Dollborde. Man überprüft die Rumpfbreite doppelt und baut Duchten oder Querstreben ein. Diese werden normalerweise mit Schrauben unter die Dollbords gehängt. Sitze werden nach Geschmack gebaut oder gykauft und eingebaut. Abschließend behandelt man das Boot, wie bei der Leistenbauweise.

Komponenten in der Leisten-Kompositbauweise

Leisten-Verbundbauweisen können zum Bau vieler Bootsteile eingesetz werden. Eine der intressanten Anwendungen ist der Bau von Spieren bis ca. 9 m Länge. Dieselbe Technik kann zur Herstellung von Kajütdächern und anderen Paneelen und Komponenten verwendet werden, wo aufgrund der Entwurfskriterien leichtes Gewicht und minimale innere Rahmenkonstruktionen bevorzugt werden und Sperrholz wegen zu starker räumlicher Krümmung nicht in Frage kommt.

In der Vergangenheit wurden massive Masten gebaut, indem rechteckige Holzstücke zu einem Profil geformt wurden und danach, wenn das Gewicht problematisch war, ausgehölt. Wir schlagen vor, daß man Spieren nicht auf diese Weise bauen sollte, sondern eine positive Form errichtet, die die Hälfte einer Spiere beschreibt, diese mit Leisten beplankt, mit Glasfasern beschichtet, eine zweite Hälfte baut und schließlich beide Hälften zusammenleimt. Die resultierende Spiere ist leicht und kann auf spezifische Lasten ausgelegt werden. Da diese Art des Bauens noch nicht allgemein verwendet wird, können wir keine Angaben über die Dimensionierung der Leisten oder die Gelegepläne machen. Kleinere Masten erfordern wahrscheinlich sowohl

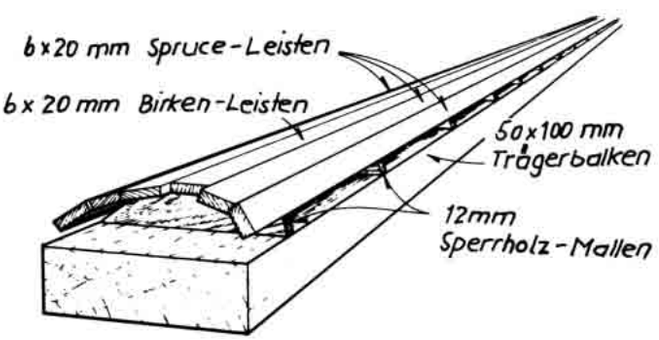


Bild 20.12 – Bau einer Leisten-Verbund-Spiere.

festere als auch weiche Hölzer. Es ist möglich, die Wanddicke und das Profil eines freistehenden Masts zu verjüngen, aber wie bei allen anderen Aspekten der Leisten-Verbundspieren muß man sorgfältige Untersuchungen machen, um korrekte Lastannahmen zu treffen.

Ein Leisten-Verbundmast wird aus zwei Hälften gebaut, die später zusammengefügt werden. Man baut eine Helling wie für ein Leistenkanu, nur, daß sie lediglich eine halbe Spiere darstellt. Wir schlagen 12 mm Sperrholz für die Mallen vor, die ungefähr alle 300 mm entlang des Basisbalkens aufgestellt werden (siehe Bild 20.12). Das Holz zum Leistenbeplanken bereitet man vor, wie oben beschrieben.

Es gibt verschiedene Wege Leistenspieren zu beplanken. Man kann die Leisten über die Form legen, während man sie zunächst nur punktweise verklebt und die Spalten in einem Arbeitsgang mit einer Mischung aus Epoxidharz und hochdichtem Füller verfüllt, wenn alle Leisten plaziert sind. Ein Bootsbauer berichtet, er sei in der Lage gewesen, alle Leisten mit Klebeband zusammenzuhalten, bis er soweit war, sie zu kleben. Wenn man keinen dieser Ansätze versuchen möchte, klebt man die Kanten und klammert, genauso als würde man ein Leistenkanu bauen.

Wenn das Harz zwischen den Leisten ausgehärtet ist, nimmt man die eine Hälfte von der Form und bringt Glasfasergewebe an der Innenseite auf. Genauso baut man eine zweite Hälfte, trägt Gewebe auf und klebt beide zusammen. Die Außenseite strakt man und beschichtet sie ebenfalls mit Glasfasergewebe.

Kapitel 21

Die Längsspantbauweise zum Lamellieren von Rümpfen.

Die Vor- und Nachteile der Längsspantbauweise wurden bereits in Kapitel 17 besprochen. Wie wir dort beschrieben haben, bildet die Längsspantbauweise ein Rahmenwerk, das die Außenhaut an Ort und Stelle hält, um eine teilweise Schalenkonstruktion zu erstellen. Sie eliminiert die Notwendigkeit eines Blocks, erlaubt den Einbau von Schotten und Spanten in der Helling und bildet Rümpfe mit ausgezeichneten Festigkeits- und Steifigkeits-Gewichtsverhältnissen. Diese Bauweise ist besonders gut zum Bau von langen, schmalen Rümpfen mit geringer räumlicher Krümmung geeignet. Der wichtigste Nachteil der Längsspantbauweise ist, daß man mit einer ganz und gar unvollständigen Form anfangen und große Sorgfalt walten lassen muß, während man die ersten beiden Furnierlagen aufbringt.

Spanten für die Längsspantbauweise

Abhängig von Design, Typ und Verwendungszweck des Bootes sind viele Kombinationen von Längsspanten, hier auch Stringer genannt, und Querspanten möglich. Der gebräuchlichste und vermutlich einfachste Ansatz ist die Verwendung von Rahmenspanten und Schotten, die beide aus handelsüblichem Sperrholz hergestellt werden können, in der gesamten Helling. Später in diesem Kapitel beschreiben wir spezielle I-Träger-Spanten, die in hochbelasteten Bereichen erforderlich sein können.

Spanten dienen zwei Zwecken: sie bilden einen Kern, bis der Rumpf fertig ist, und dann stützen sie den fertigen Rumpf. Im Allgemeinen liegen die Spanten bei der Längsspantbauweise dichter zusammen, als bei der Block-Methode oder der Leistenbauweise. Dies liegt daran, daß bei der Längsspantbauweise relativ wenig Stringer zum Stützen des Lamelliervorgangs verwendet werden, während die anderen beiden Methoden dazu viele Stringer oder vielmehr: Planken verwenden. Die langen, schmalen, typischerweise für Mehrrumpfboote gezeichnten Rümpfe verlangen nach vielen tragenden Rahmenspanten aus Steifigkeits- und Festigkeitsgesichtspunkten. Bei Einrumpfbooten, mit ihren volleren Formen, mag der Bedarf nach tragenden Spanten nicht so groß sein, eine Mindestanzahl ist aber notwendig, eine Helling während des Baus zu stützen.

Rahmenspanten werden im Gegensatz zu lamellierten oder gesägten Spanten oder Sperrholzschotten aus Sperrholz geschnitten. Dicke und Breite von Rahmenspanten variieren abhängig von den strukturellen Gegebenheiten der Rümpfe stark. Da die wechselnden Faserrichtungen der Sperrholzfurniere die Festigkeit der Spanten in allen Richtungen vergrößern, ist es wichtig, ausgeglichenes Sperrholz mit mindestens fünf abwechselnden Lagen zu verwenden. Eine drei-schichtige Platte ist meistens in der Richtung der zwei gleichlaufenden Schichten viel stärker, als in der Richtung der mittleren Schicht. Selbst bei ausgeglichenen Platten ist es wichtig, die Spanten auf dem Sperrholz so aufzuschnüren, daß dessen Fasern die größte Festigkeit bei einer gegebenen Spantform gewährleisten.

Bei der Längsspantbauweise gibt es immer die Gefahr, daß sich ein Stringer während des Lamellierens verformt. Schon eine Durchbiegung von nur 1,5 mm ergibt bedeutende Probleme beim Straken der fertigen Oberfläche, aber 3 mm starke Maßabweichungen können zum Desaster werden. Die richtigen Spantabstände und die richtige Stringergröße verringern die Möglichkeit einer solchen Katastrophe.

Die größten von uns verwendeten Abstände zwischen den Spanten betrugen 610 mm, wobei Abstände von 460 mm üblicher sind. Wenn die festen Spanten im fertigen Rumpf nicht so dicht gesetzt sein müssen, können Mallspanten zur Unterstützung provisorisch in der Helling eingefügt werden, um nach der Verleimung der Außenhaut wieder entfernt zu werden.

Wie bei der Leistenbauweise kann man bei der Längsspantbauweise vorgefertigte Schotten, lamellierte Spanten, Vorsteven und Kiel in der Helling zusammen mit den Mallspanten, die zur Unterstüt-

zung des Lamelliervorgangs notwendig sind, aufstellen. Der einzig echte Unterschied zu der Block-Methode, beziehungsweise zur Längsspantbauweise ist, daß die Stringer, anstatt über den Spanten montiert zu werden, hier in die Spanten eingelassen werden, so daß sie mit deren äußeren Kanten fluchten. Die Lagen der Außenhaut werden mit allen diesen Teilen verleimt und helfen so, diese miteinander zu verbinden.

Stringer für die Längsspantbauweise

Die Stringer dienen wie die Spanten zwei Funktionen. Auch sie bilden den ziemlich entscheidenden Kern, während der Rumpf gebaut wird, und stützen den fertigen Rumpf. Es ist schwierig, die Stringer provisorisch zu verstärken, also lösen die Anforderungen des Kerns die Anforderungen des fertigen Rumpfes ab. Es ist gut möglich, daß man am Ende mehr Stringer verwendet, als die Konstruktion eigentlich erfordert, damit man einen anständigen Kern erhält. Die Stringer können aber selbstverständlich kleiner gehobelt werden, nachdem die Außenhaut verleimt worden ist.

Die Hauptforderung an einen Stringer ist, daß er sich nicht verbiegt, wenn Sperrholz oder Furnier während der Lamellierung über ihn gebogen wird. Um diese Formänderung zu minimieren, setzen wir die Stringer immer senkrecht zur Außenhaut, wobei die schmale Seite die Außenhaut berührt und die lange Seite in den Rumpf ragt. Ein typischer Stringer für ein 12 m Boot ist 38 mm tief und 12 mm dick. Wir befestigen die 12 mm-Seite an der Außenhaut und lassen die 38 mm-Seite nach innen zeigen. Das ergibt ein T-Profil, das dem fertigen Rumpf große Steifigkeit und Festigkeit gibt. Wenn der Stringer mit seiner 38 mm-Seite an der Außenhaut befestigt würde, betrüge die Steifigkeit nur ca. ein Drittel der Steifigkeit, die mit der anderen Seite erreicht wird, und er würde beim Lamellieren wahrscheinlich deformiert. Das kann zu einem unebenen Rumpf führen.

Da man Furnier und Sperrholz an die schmalen Seiten der Stringer klammern will, müssen diese breit genug sein, damit man nicht so oft daneben klammert. Obwohl selbst bei einem breiten Stringer mal daneben getackert wird, und die Klammern vor dem Auftragen der nächsten Lage entfernt werden können, ist 20 mm eine praktische Stringerbreite zum Klammern. Wir gehen mit der Stringerbreite aber oft ohne große Schwierigkeiten bis auf 16 mm herunter. Man kann auch dünnere Stringer verwenden, aber das erfordert genaue und zeitraubende Messungen, damit Fehlklammerungen vermieden werden.

Eine weitere Überlegung zur Dimensionierung der Stringer betrifft die Biegbarkeit über die stärk-

Bild 21.1 – Helling des Hauptrumpfes der ROGUE WAVE mit eingebauten Stringern, fertig zum Beplanken.

Bild 21.2 – Spanten, aufgestellt für die Proa SLINGSHOT. In diesem Fall wurden die Stringer des Unterwasserschiffs parallel zur Kimm angezeichnet und gegen den Kiel geführt. Der einzige Seitenstringer wurde mittig zwischen Kimm und Balkweger gesetzt.

sten Krümmungen des Rumpfes. In bestimmten Situationen kann es notwendig werden, die Stringer aus zwei bis drei Stücken zu lamellieren, um der Kurve gerecht zu werden. Wenn das so ist, verwendet man die Helling als provisorische Form, über der man die Lamellierung biegt und festzwingt, bis der Kleber ausgehärtet ist. Dann nimmt man den lamellierten Stringer von der Helling und bereitet ihn zum endgültigen Einbau vor. Der lamellierte Stringer hat den großen Vorteil, mit Sicherheit sehr steif zu sein und sich während der Furnierlamellierung nicht zu verbiegen.

Aufgrund der betroffenen Variablen ist es schwierig, eine Anleitung zur Dimensionierung der Stringer in bezug auf ein angemessenes Widerstandsmoment (Fähigkeit, Durchbiegung zu widerstehen) zu geben. Normalerweise kann man dies für sich mit Hilfe einer Attrappe bestimmen, wobei ein Stringer einer bestimmten Größe zwischen zwei Auflagern, die den Spantabstand annähern, errichtet wird. Indem man das Holz, mit dem man lamellieren möchte, über diesen Stringer biegt, kann man sich einen guten Eindruck verschaffen, ob diese Größe angemessen ist. Als eine allgemeine Richtlinie: ein 40 x 20 mm Stringer ist für die meisten Lamellierungen bei einem Spantabstand von 610 mm angemessen.

Die nächste Entscheidung betrifft den Querabstand der Stringer. Zunächst ist es keine Frage, wieviele Stringer im fertigen Rumpf benötigt werden, sondern, wieviele Stringer mindestens für einen vernünftigen Lamelliervorgang erforderlich sind. Die Anforderungen der Rumpfkonstruktion unterscheiden sich wiederum von denen des Kerns.

Der Hauptfaktor , der die Stringerabstände bestimmt, ist die Rumpfform selbst. In Bereichen mit größeren Krümmungen kann eine größere Anzahl von Stringern erforderlich sein, um die Rumpfform ausreichend zu bestimmen, während flachere Gebiete mit weniger Stringern auskommen. Verwendet man *bis zu* 5 mm dickes Lamelliermaterial, werden die meisten Stringer in Abständen von 125 bis 200 mm gesetzt. Wenn es keine starken Krümmungen gibt, kann man die Stringer sogar noch weiter setzen, vorausgesetzt, es wird dickeres Lamelliermaterial, wie zum Beispiel 6 mm Sperrholz verwendet. Aus strukturellen Gründen haben wir unsere Stringerabstände in einer Größenordnung zwischen der zehn- bis zwanzigfachen Außenhautdicke gewählt. Stringer, beispielsweise mit einem Abstand von 150 mm bei einer 12,5 mm dicken Außenhaut, ergäben einen Abstand von zwölf-facher Außenhautdicke, eine dünnere Außenhaut ergäbe mit demselben Stringerabstand ein größeres Verhältnis. Im Allgemeinen zahlt sich eine konservative Haltung bei der Abstandswahl aus, da die Stringer nicht viel wiegen und dadurch das Gewicht nicht stark zunimmt, wenn man ein oder zwei Stringer zufügt, die jedoch meßbar zu einer besseren Kernoberfläche beitragen. Bei langen, schmalen Rümpfen ohne starke räumliche Krümmung kann man die Stringer parallel zur Seite Deck in fortlaufenden Reihen verlegen. Diese laufen schließlich am Kiel in einer gebogenen Kurve aus. Wenn die Stringer parallel zur Seite Deck verlegt werden, kann man die Spanten vor dem Einbau in die Helling mit Kerben versehen, welche die Stringer aufnehmen. Dabei kann man auf Dauer viel Zeit sparen, weil es wesentlich einfacher ist, die Spanten an der Hobelbank zu kerben, als später, wenn sie eingebaut sind. Hierfür kennzeichnet man auf jedem Spant die Standardstringerabstände, angefan-

Anschlagleisten für die Oberfräse (zur Feineinstellung dieser Vorrichtung klebt man Klebeband gegen die Leisten Flächen.
Markierungen für Stringer-Kerben.
Die Oberfräse läuft entlang der Anschlagleisten auf der Vorrichtung
Der Schneidkopf ist so tief eingestellt, daß das Sperrholz durchgeschnitten wird.
C – Schraubzwinge (Schnellverschluß Schraubzwingen würden sich beim Fräsen losrütteln)
Falls die Fräse mit einer hülsengelagerten Leitrolle ausgestattet ist, kann man auf die Führungsleisten verzichten, und die Vorrichtung entsprechend modifizieren.
Stringer-Kerben

Bild 21.3 – Oberfräsenvorrichtung zum Kerben der Spanten und Decksbalken vor dem Aufstellen.

gen am Balkweger, wobei man die Lage der einzelnen Stringer, die den Spant vom Balkweger bis zum Kiel kreuzen, erhält. Wir schlagen vor, Oberfräsen zum Kerben der Spanten, wie in Bild 21.3 zu sehen ist, überall wo möglich zu verwenden.

Stärker räumlich gekrümmte Rumpfformen bieten sich nicht so sehr zum Vorkerben der Spanten an. Bei ihnen müssen die Stringer mehr nach den Erfordernissen der Krümmungen verlegt werden. Einige Rumpfformen haben Krümmungen, über die die Stringer am besten schräg geführt werden; die Machbarkeit bestimmt über die Lage der Stringer. Dasselbe Problem existiert bei der Block-Methode und der Leistenbauweise, und ist bereits besprochen worden. Hier ist es potentiell schwieriger und weil die Stringer dazu tendieren, größer zu sein, lassen sie sich schwieriger biegen, als Leisten oder Beplankung bei anderen Bauweisen. Bei sehr stark gekrümmten Formen ist es außerdem ungewöhnlich, daß die Stringer parallel zueinander verlaufen. Sie nähern sich eher einander, während sie von mittschiffs zum Bug oder Heck kommen. Dies bedeutet, daß man wahrscheinlich die Stringer einzeln verlegen muß, damit sie die Bereiche gleichmäßig aufteilen und in einigermaßen gleichmäßigen Abständen verlaufen. Wenn man die Stringerabstände bestimmt, sollte man besonders auf ungewöhnlich starke Krümmungen achten. Die starke Ausbuchtung, die von der vorderen Gurtmeßstelle einer typischen IOR-Rennyacht erzeugt wird, ist beispielsweise eine solche Problemzone. Um diese enge Kurve nach den Vorgaben des Konstrukteurs abzuwickeln, ist die Lage der Stringer extrem wichtig. Normalerweise braucht man drei Stringer, um eine solche enge Kurve ausreichend zu beschreiben, wobei der mittlere Stringer in den Scheitelpunkt der Kurve und die anderen beiden Stringer dicht daneben gelegt werden, um die Kurve, über die verleimt werden soll, endgültig zu beschreiben. Eins der Probleme, die durch solche extremen Kurven hervorgerufen werden, ist die zusätzliche Belastung der Stringer an diesen Stellen. In diesem Fall trägt der mittlere Stringer die gesamte Biegelast und hat die Tendenz, nach innen zu biegen, während die seitlichen Stringer, die die erste lamellierte Schicht in der gebogenen Form halten, dazu tendieren, nach außen zu biegen, nachdem die Lamellierung an allen dreien befestigt ist. Falls dieses Problem auftritt, kann man die Stringer provisorisch mit Stützen vom Boden oder von den gegenüberliegenden Spanten abfangen. Eine weitere Lösung bietet sich an, indem man die Lasten auf zwei anstatt nur auf einen Stringer aufbringen würde; also würden vier anstatt drei Stringer die Arbeit übernehmen, diese scharfe Kurve zu beschreiben.

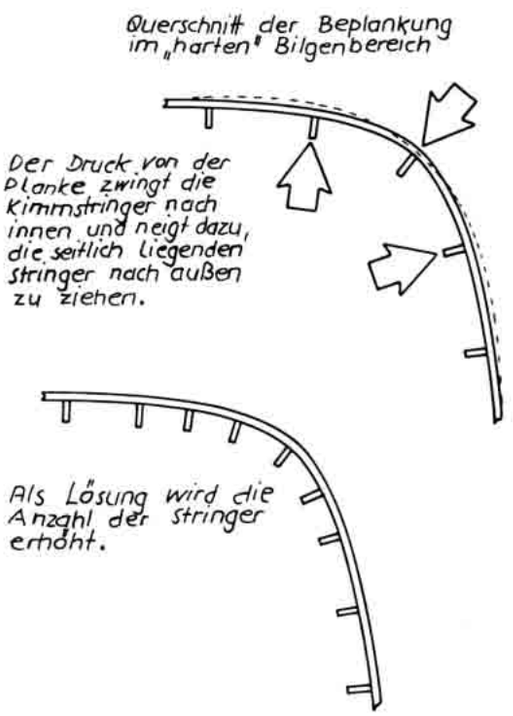

Querschnitt der Beplankung im „harten" Bilgenbereich
Der Druck von der Planke zwingt die Kimmstringer nach innen und neigt dazu, die seitlich liegenden Stringer nach außen zu ziehen.
Als Lösung wird die Anzahl der Stringer erhöht.

Bild 21.4.

Einkerbung der Spanten für die Stringer

Wenn man alle Stringerpositionen festgelegt hat, überprüft man den allgemeinen Strak mithilfe einer Latte. Ist man mit dieser Lage zufrieden, beginnt man, die Spanten für die Aufnahme der Stringer zu kerben.

Für diesen Vorgang machen wir uns eine Markierungslehre, wie in Bild 21.5 gezeigt. Dies ist nichts anderes, als ein 75 bis 100 mm langer Abschnitt der Stringerleisten, die wir verwenden werden, mit einem etwas längeren Stück Sperrholz, das an der Kante, die später der Außenhaut zugewandt ist, befestigt wird. Das Sperrholzbrettchen geht einige Zentimeter weiter als das Stringerstück. Um den Stringer auf dem Spant anzuzeichnen, legt man die Lehre mit dem Sperrholzbrettchen auf die Bezugskante des Spants und die Stringerprobe dicht gegen die Seite. Es ist wichtig, daß die Lehre genau ist, so daß die Markierung senkrecht zum momentanen Spantumfang gezeichnet wird. Wir zeichnen die Stringerpositionen immer mit der Oberkante oder der Unterkante an der Markierung an allen Spanten an. Mit anderen Worten: zeichnen Sie die markierten Stringerpositionen nie in der Mitte der Stringer an, sondern kennzeichnen Sie die Marke, ob sie sich auf die Ober- oder Unterkante bezieht.

Wenn man alle Stringerumrisse angezeichnet hat, kann man mit dem Auskerben beginnen. Es gibt

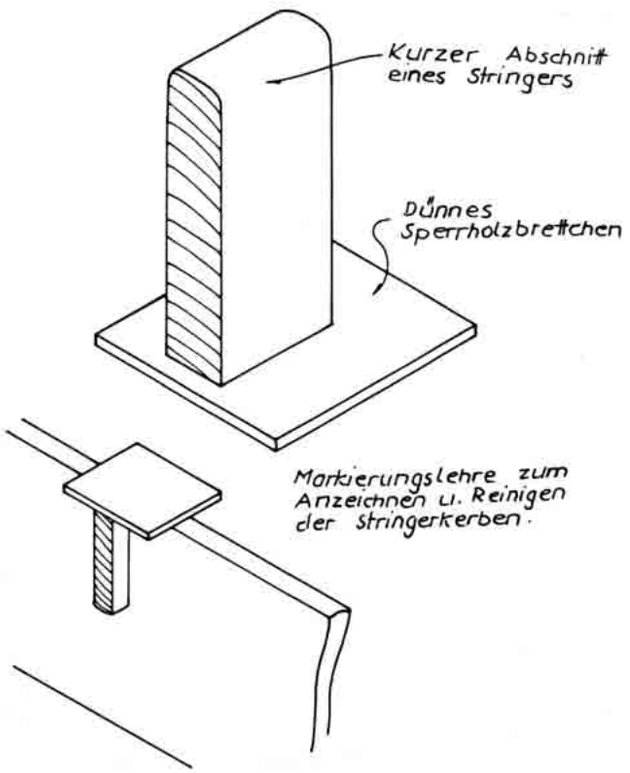

Kurzer Abschnitt eines Stringers
Dünnes Sperrholzbrettchen
Markierungslehre zum Anzeichnen u. Reinigen der Stringerkerben

Bild 21.5 – Markierungslehre.

viele Methoden, die Spanten auszuschneiden, damit die Stringer hereinpassen. Bei der einfachsten nimmt man eine Handsäge und schneidet entlang der Markierung bis zu deren Grundlinie. Man macht noch mehrere Schnitte in das übrige Holz zwischen den Markierungslinien und sticht dann das restliche Holz mit einem scharfen Stecheisen am Boden des Schlitzes aus, bis das ganze Material aus dem Schlitz entfernt ist. Bis man mit der Säge gut umgehen kann, schneidet man die Schlitze etwas unter Maß und feilt sie dann von Hand auf gute Passung. Zum Überprüfen der Schlitze nimmt man ein Probestückchen des Stringers. Der Kerbvorgang kann mit einem Elektrowerkzeug, wie einer Pendelstichsäge oder einer auf korrekte Tiefe eingestellten Kreissäge beschleunigt werden. Wir würden bei der Verwendung dieser Geräte jedoch zur Vorsicht raten, da man Erfahrung haben muß, um mit ihnen genaue Schnitte machen zu können.

Einpassen und Straken der Stringer

Ein Vorteil der Längsspantbauweise ist, daß man die Spanten nur grob zu straken braucht, während man sie aufstellt. Man kann sie an schrägen und abschließend straken, wenn man die Stringer installiert. Die Stringer dienen als Straklatten: man kann sie in den Schlitzen nach innen und außen bewegen, um einen Spant, der an irgeneiner Stelle zu flach oder zu hoch ist, auszugleichen. Wenn ein Stringer an einem Spant zum Beispiel einen Knick hat, kann man das korrigieren, indem man den Schlitz etwas tiefer feilt , bis er glatt liegt. Wenn ein Stringer andererseits an einem Spant zu flach ist, kann man ihn mit einem kleinen Keil in seinem Schlitz unterfüttern.

Während man die Stringer an ihre Schlitze anpaßt und strakt, muß man auch ihre Enden an Vorsteven und Spiegel anpassen. Man kann dreieckige Kerben in den Steven schneiden und die Stringer in diese Kerben einpassen. Wir lassen die Stringer häufig in die inneren Lamellen des Stevens ein und verwenden dann Bugband-ähnliche Knie, um eine dreieckige Verbindung der gegenüberliegenden Stringer herzustellen. Bei beiden Methoden paßt man die Stringer zunächst am Steven an und setzt sie dann, vom Bug nach achtern arbeitend, in die Schlitze der Spanten ein.

Wir lassen die Stringer gewöhnlich in partielle Spiegel ein. Wenn der Rumpf fertig verleimt ist, leimen wir zusätzliche Lagen auf den Spiegel. Den partiellen Spiegel kerben wir genauso ein, wie einen Spant. Wenn man aber einen kompletten Spiegel hat, schneidet man lieber dreieckige Kerben, wie beim Vorsteven in den Spiegel, so daß die Stirnflächen der Stringer nicht außen liegen.

Hat man die Stringer provisorisch eingebaut, und sie straken gut, bereitet man sie zum endgültigen Einbau vor, indem man sie an verschiedenen Stellen kennzeichnet und nochmal entfernt. Falls man es bis jetzt noch nicht getan hat, rundet man nun die inneren Kanten der Stringer zwischen den Span-

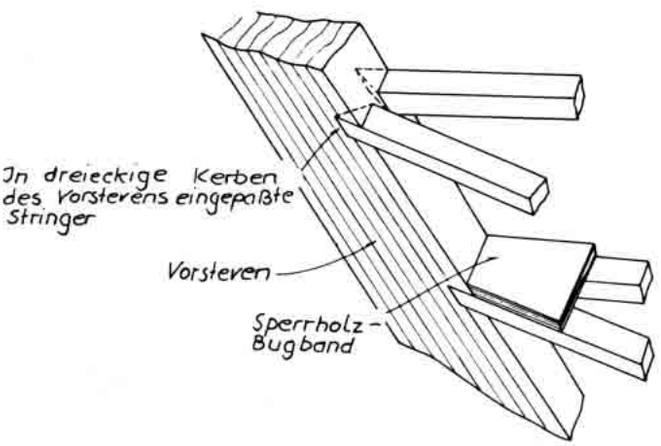


Bild 21.6 – Einpassen der Stringer in den Vor- oder Achtersteven.

ten ab, schleift und beschichtet sie. Die Bearbeitung von Einzelteilen, bevor sie eingebaut werden, ist bei dieser Lamelliermethode besonders wichtig, da die Längsspanten-Innenseiten später nicht angemessen beschichtet und geschliffen werden können.

Bevor man die Stringer wieder einsetzt, trägt man eine dicke Epoxidharzmischung hoher Dichte auf die inneren Kanten der Stringerschlitze in den Spanten auf. Es ist nicht notwendig, Harz auf die vorbehandelten Stringer aufzutragen, bevor man sie einbaut, obwohl es in manchen Fällen besser ist, beide Oberflächen einzustreichen, um einen besseren Kontakt zu gewährleisten. Wenn man die Schlitze sauber ausgeschnitten hat, benötigt man nur geringe äußere Hilfe, die Verbände zu fixieren, bis der Kleber ausgehärtet ist. Normalerweise halten einige Klammern oder ein paar Zwingen an den richtigen Stellen die Stringer. Die festen Spanten müssen von dem herausquellenden Kleber gereinigt werden. Manchmal benutzen wir diese übriggebliebene Harzmischung dazu, mit kleinen Hohlkehlen zwischen Spanten und Stringern die Klebeflächen zu vergrößern.

Bild 21.7 – Straken der Spanten einer Längsspanthelling.

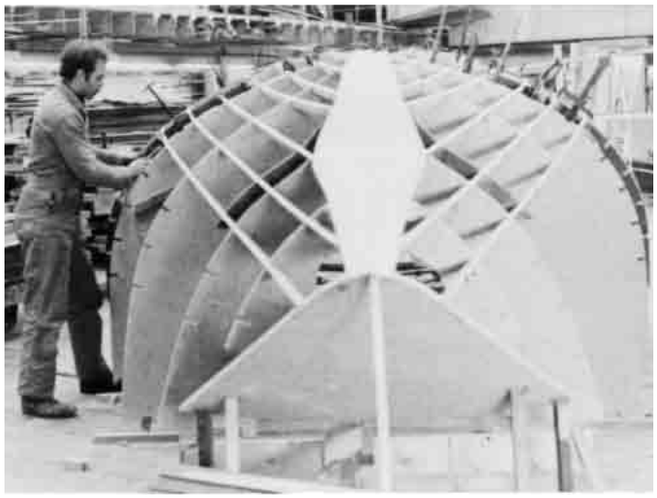


Bild 21.8 – Die Stringer können ein wenig verrückt werden, um die Biegung, Anpassung oder Verleimung zu erleichtern.

In Gebieten, wo der Stringer in provisorische Spanten eingelassen wird, verwendet man keinen Kleber, da man die Mallspanten später enfernen möchte, ohne die Stringer zu beschädigen. Wenn der Mallspant dicht am Stringer anliegt, ist wahrscheinlich keine weitere Haltevorrichtung notwendig, um den Stringer zu fixieren; wenn aber eine Spielpassung vorliegt, fixiert man den Stringer mit flachen Keilen, die in die schmalen Spalte geschlagen werden, die dann vermutlich zwischen Stringer und Spant existieren. Manchmal haben wir die Stringer auch mit dünnen Hohlkehlen, die wir später mit dem Stecheisen entfernen konnten, fest am Spant fixiert.

Wenn alle Stringer fest eingebaut sind, beginnt man, die Oberfläche abschließend nochmal zu straken. Jetzt ist es sehr einfach, die Spanten mit den richtigen Schrägen zu versehen. Dazu richtet man sich nach den Stringern, damit man perfekte Schmiegen von Spant zu Spant erhält. Falls man irgendwelche Fehler gemacht und Buckel und Senken hat, kann man sie jetzt noch leicht beseitigen. Auffällig hohe Stringer oder Spanten korrigiert man, indem man überstehendes Material weghobelt, bis sie mit der übrigen Fläche straken. Indem man eine Lage 3 mm-Furnier aufleimt und später mit dem übrigen Rumpf ausstrakt, korrigiert man zu flache Stringer oder Spanten.

Nicht eingeweihten Personen erscheint das Straken von periodisch auftretenden Stringern schwierig, weil der größte Teil des Rumpfes noch offen ist. Bei der Leistenbauweise oder der Block-Methode ist es ein bißchen leichter, die Oberfläche in Augenschein zu nehmen, da es sich um eine massive Oberfläche handelt, die einfach mehr Hinweise

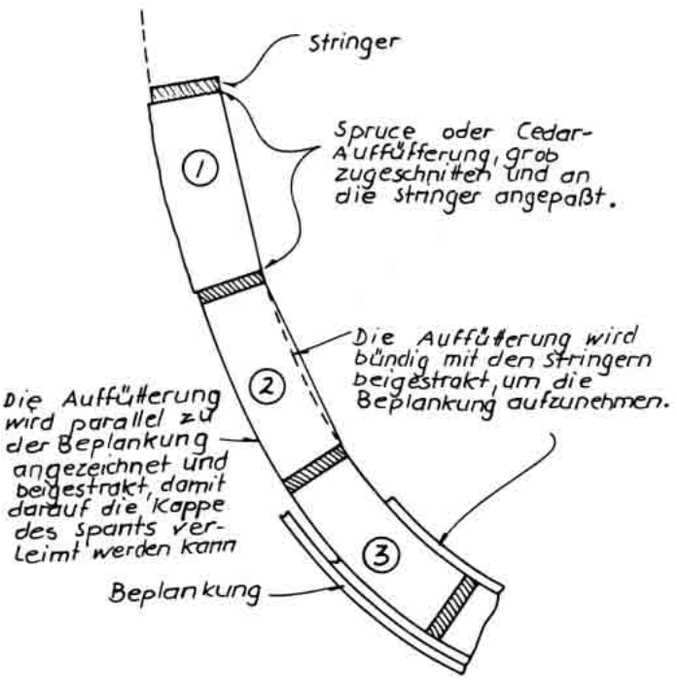

Stringer
Spruce oder Cedar-Auffütterung, grob zugeschnitten und an die Stringer angepaßt.
Die Auffütterung wird bündig mit den Stringern beigestrakt, um die Beplankung aufzunehmen.
Die Auffütterung wird parallel zu der Beplankung angezeichnet und beigestrakt, damit darauf die Kappe des Spants verleimt werden kann
Beplankung
1
2
3

Bild 21.9 – Auffütterungen zwischen den Stringern.

auf Buckel und Senken, die vielleicht vorhanden sind, bietet. Das Hobeln von einem Spant oder einem Stringer betrifft bei der Längsspantbauweise gleich einen großen Bereich der Oberfläche, die zu straken ist. Eine gute Straklatte und sorgfältiges Beobachten werden Ihnen helfen, einen guten Gesamtstrak zu erreichen. Den Querstrak entwickelt man, indem Straklatten schräg und senkrecht über die Stringer gelegt werden. Den Längsstrak prüft man, indem an den festen Stringern entlang schaut. Bei Gebieten mit möglichen Unregelmäßigkeiten, klemmt man eine große Latte mit Schraubzwingen auf den aufgefallenen Stringer, um zu sehen, ob er tatsächlich gleichmäßig verläuft, wie die Latte es anzeigt. Die bevorzugten Werkzeuge zum abschließenden Straken sind ein kleiner handlicher Putzhobel, ein Schlichthobel (beide sind fein einzustellen und scharf zu halten), sowie ein 280 mm-Schleifklotz mit 50er Schleifpapier.

I-Träger-Spanten

Mit der Längsspantbauweise ist es möglich, im Rumpf verbleibende *I-Träger-Spanten* zu bauen. Der Vorteil hiervon ist, daß man den Rumpf damit örtlich gut versteifen kann, ohne viel Platz im Innenraum zu benötigen. Diese Art der Versteifung ist normalerweise nicht überall im Rumpf erforderlich, kann aber in den Bereichen mit starken Krümmungen sehr hilfreich sein. Manchmal verwenden wir sie beim Decksbau.

Der I-Träger-Spant besteht aus drei Teilen: der lasttragenden Rumpfaußenhaut, einem Steg, zusammengesetzt aus Füllstücken aus leichtem Holz und einem lastaufnehmenden inneren lamellierten Gurt. Die Füllstücke werden zwischen den Stringern im Bereich des Spants eingefügt. Die Lamellierung wird an Ort und Stelle über den Stringern geformt und mit den Füllstücken verleimt. Die Größen der Füllstücke und der Lamellierung können den beteiligten Lasten angepaßt werden. Da die Füllstücke nur selten hohen Lasten ausgesetzt sind, schneiden wir sie aus weichen Hölzern, wie Cedar, Spruce oder Kiefer.

Eine Art, I-Träger-Spanten zu bauen ist, die Füllstücke nach dem Straken der Stringer, aber vor dem Lamellieren der Außenhaut, einzusetzen. Wir schlagen vor, diese Füllstücke mit der Innenkante abschließend, aber mit ausreichender Zugabe an der Außenseite einzupassen und zu verleimen, so daß man sie für die Plankung leicht straken kann. Wenn man wartet, bis der Rumpf fertig lamelliert ist, und dann die Stücke einfügen möchte, stellt man fest, daß es so viel zu schwer ist.

Meistens fügen wir die Füllstücke erst ein, wenn die Helling fertig gestrakt ist. Auf diese Weise muß man sie dann lediglich an die Stringer anpassen, mit denen sie verbunden sind. Die Klötze werden auch zu den Innenkanten der Stringer gestrakt, um eine glatte Oberfläche zu erhalten, über die man den dritten Teil des I-Trägers lamellieren kann. Dieses Teil erstellen und installieren wir dauerhaft, bevor die Außenhaut lamelliert wird. (Siehe Bild 21.9)

In Bild 21.10 ist eine zweite Art dargesellt, mit der man I-Träger herstellen kann. Bei dieser Technik sägt man einen Rahmenspant bündig mit den Stringerinnenkanten aus, läßt das verbleibende Sperrholz als Steg stehen und fügt einen lamellierten Spant hinzu. Dies ergibt einen I-Träger-Spant, der möglicherweise fester als ein Rahmenspant ist, aber weniger Platz braucht.

Beim Bau eines I-Träger-Spants aus einem Sperrholz-Rahmenspant, beginnt man mit dem Schneiden und Anpassen der Kerben für die Stringer. Dann sägt man ca. 50 mm lange Anfangsschnitte beiderseits der Kerben. Man beginnt mit dem Schnitt an der tiefsten Stelle der Stringerschlitze und führt ihn parallel zur Beplankung bis zum nächsten Stringer. Wenn man den Rumpf fertig lamelliert hat, checkt man die Linie, ob sie tatsächlich parallel zur Beplankung verläuft und benutzt dann eine Stichsäge, um die Schnitte zu verbinden und den Rest des Spants wegzuschneiden. Zum Ausstra-

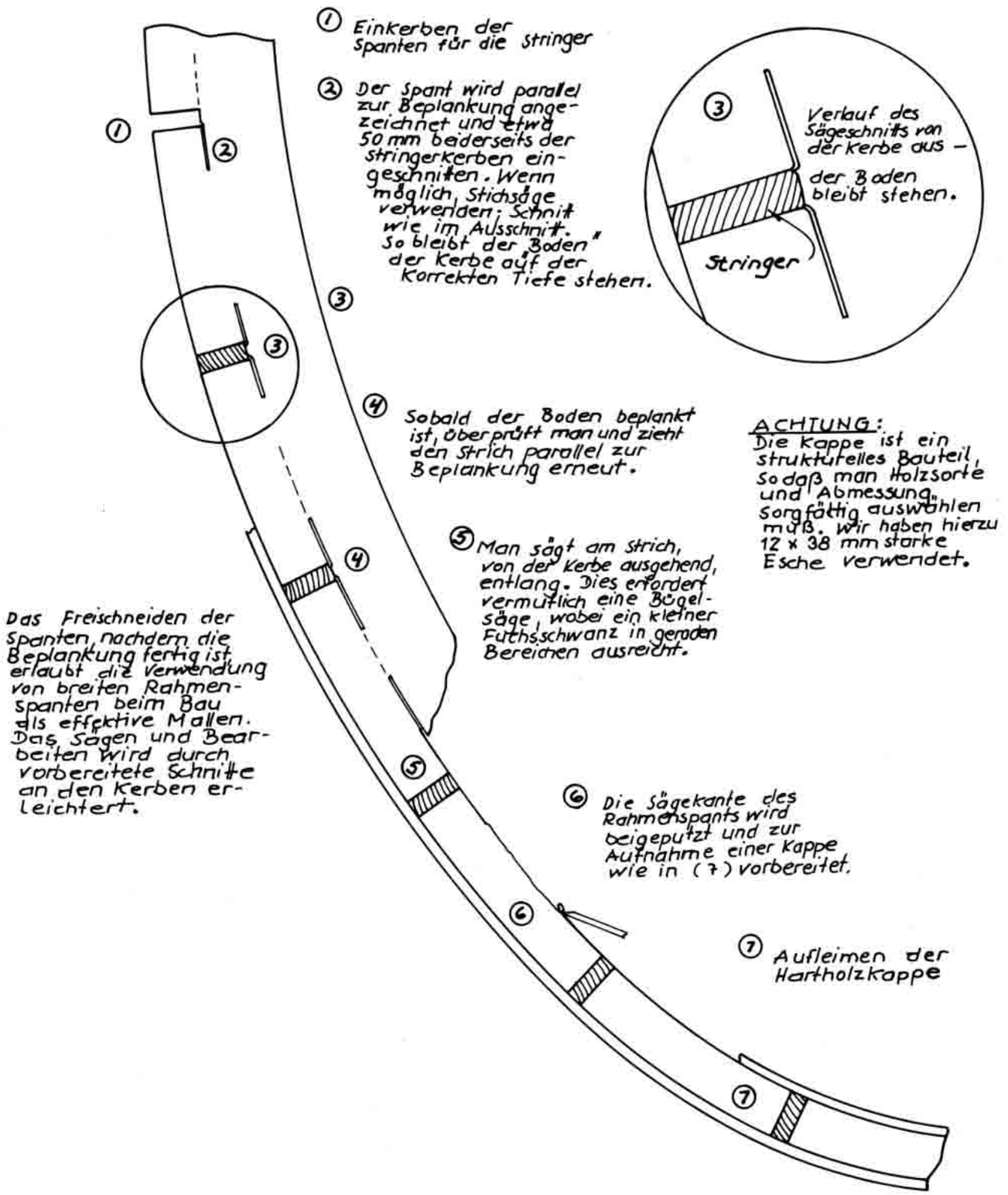

① Einkerben der Spanten für die Stringer
② Der Spant wird parallel zur Beplankung angezeichnet und etwa 50 mm beiderseits der Stringerkerben eingeschnitten. Wenn möglich, Stichsäge verwenden; Schnitt wie im Ausschnitt. So bleibt der Boden der Kerbe auf der korrekten Tiefe stehen.
③ Verlauf des Sägeschnitts von der Kerbe aus – der Boden bleibt stehen.
Stringer
④ Sobald der Boden beplankt ist, überprüft man und zieht den Strich parallel zur Beplankung erneut.
ACHTUNG: Die Kappe ist ein strukturelles Bauteil, sodaß man Holzsorte und Abmessung sorgfältig auswählen muß. Wir haben hierzu 12 x 38 mm starke Esche verwendet.
⑤ Man sägt am Strich, von der Kerbe ausgehend, entlang. Dies erfordert vermutlich eine Bügelsäge, wobei ein kleiner Fuchsschwanz in geraden Bereichen ausreicht.
Das Freischneiden der Spanten, nachdem die Beplankung fertig ist, erlaubt die Verwendung von breiten Rahmenspanten beim Bau als effektive Mallen. Das Sägen und Bearbeiten wird durch vorbereitete Schnitte an den Kerben erleichtert.
⑥ Die Sägekante des Rahmenspants wird beigeputzt und zur Aufnahme einer Kappe wie in (7) vorbereitet.
⑦ Aufleimen der Hartholzkappe

Bild 21.10 – Herstellung eines I-Träger-Spants aus einem Rahmenspant.

ken des Sägeschnitts mit den inneren Stringerkanten, benutzt man einen Ziehhobel, und verleimt danach die Lamellierung.

Lamellieren auf der Helling

Die Längsspantbauweise bietet eine einzigartige Herstellungsmöglichkeit: Die Stringer der fertigen Helling können als Form dienen, über der Spanten, die inneren Gurte der I-Träger-Spanten, Bodenwrangen und sämtliche anderen Teile, die entsprechend der Rumpfform gebogen werden müssen, lamelliert werden können.

Zum Lamellieren auf der Helling beginnt man mit relativ dünnem, leicht zu biegendem Holz. Dann trägt man auf alle Streifen Kleber auf und wickelt den Stapel in 1 bis 1,5 mm starke Polyurethan-Folie ein, so daß man damit hantieren kann, ohne Helling, Spanten, Stringer oder die Mitarbeiter mit Epoxidharz zu bekleckern. Danach klemmt man den Stapel mit Schraubzwingen im gewünschten Bereich an die Stringer, während weitere Zwingen auf der Lamellierung zwischen den Stringern für gleichmäßigen Apressdruck sorgen. Wir setzen die Lamellierung normalerweise so dicht wie möglich an einen Spant, damit die Stringer besser unterstützt werden und sich nicht durchbiegen. Wenn möglich, sollte man einen Ort in der Helling aussuchen, der eine etwas engere Kurve aufweist als das zu lamellierende Teil später haben soll, damit man die Rückfederung kompensieren kann.

Beim Lamellieren sollte man vermeiden, die Stringer oder andere Teile der Helling mit den Zwingen oder Harz zu beschädigen. Verletzbare Bereiche sollte man mit Kreppband und Plastikfolie abkleben. Unterlegbrettchen aus Sperrholz sollte man ebenfalls zum Schutz des Holzes verwenden. Nachdem die Verleimung ausgehärtet ist, nimmt man sie aus dem Plastik und hobelt sie auf die gewünschte Form und Größe. Schließlich paßt man das Element ein und behandelt es zum Einbau vor.

Die erste Lamellierung

Bevor man die Außenhaut des Rumpfes über der fertigen Helling verleimen kann, analysiert man sorgfältig die Innenseite, ob eventuell bestimmte Arbeiten effizienter durchgeführt werden können, solange der Rumpf noch nicht fertig ist. Die Längsspantenbauweise erfordert zusätzliche Aufmerksamkeit für diese Dinge, da die zerklüftete Innenoberfläche den Einbau von Innenteilen besonders erschwert. Lamellierte Bodenwrangen und Spanten, Schwertkästen und Inneneinrichtung bieten

Bild 21.11 – Lamellierte Bodenwrangen über Längsspanten. Um das Lamellieren ul!d Einbauen der Bodenwrangen zu vereinfachen, sind die Uberwasserstringer noch nicht angebracht worden.

sich dafür an. So werden Sitzbänke, Schränke und andere Teile manchmal eingebaut, bevor die Außenhaut aufgebracht wird, da diese Teile dann schneller an die allgemeine Hellingoberfläche angepaßt und eingestrakt werden können. Die Alternative dazu ist es, diese Teile später an die gekrümmte und durch Stringer und Spanten komplizierte Rumpfinnenseite anzupassen.

Manche fast komplette Inneneinrichtung wurde schon vor der Rumpflamellierung eingebaut, wobei dies in den meisten Fällen nicht möglich ist. Die

Bild 21.12 -Plazierung der Balkweger und seitlichen Stringer nach Installierung der lamellierten Bodenwrangen, der Auffütterungen und der ersten Schicht der Sperrholzbeplankung auf dem Unterwasserschiff.

glatten Innenseiten, die bei der Block-Methode oder der Leistenbauweise möglich sind, eignen sich im Vergleich dazu eher zum Einpassen und Befestigen von Teilen, als die Innenseiten der Längsspantbauweise.

Der Hauptzweck der ersten Lamellenlage der Längsspantbauweise besteht darin, eine feste Anfangslage für die weiteren Verleimungen zu bieten. Diese erste Schicht kann aus Sperrholz, oder aus Furnier sein. Wir bevorzugen für die erste Schicht jedoch aus mehreren Gründen Sperrholz. Da der Kern zu diesem Zeitpunkt eigentlich als unvollständig angesehen werden muß, ist es wichtig, das stabilste verfügbare Lamelliermaterial für die erste Schicht zu verwenden, damit möglichst die stabilste und am besten strakende Fläche für die folgende Verleimung erreicht wird. Sperrholz ist, da es aus drei Lagen aufgebaut ist, in allen Richtungen dimensionsstabiler als Furnier. Sperrholz bietet außerdem den Vorteil, daß seine Oberflächen schon geschliffen und daher leicht vorzubehandeln sind.

Das heißt nicht, daß man Furnier nicht erfolgreich verwenden kann; wir haben es, wie viele andere Bootsbauer, oft verwendet. Furnier erfordert jedoch größeres handwerkliches Geschick. Das liegt hauptsächlich daran, daß die zwischen den Stringern nicht unterstützten Kanten der Furniere schwieriger zu kontrollieren sind. (Sie neigen dazu, sich in der einen oder anderen Richtung an den Kanten aufzurollen, was Nacharbeiten durch den Erbauer erfordert.) Die Stabilität von Sperrholz macht das Vorbehandeln der Innenseite vor dem Einbau praktisch, wodurch man eine Menge Zeit beim späteren Behandeln der Innenseiten spart. Aufgrund seiner flexibleren Oberfläche raten wir von einer solchen Vorbehandlung des Furniers ab. Die einzigen Vorteile von Furnier bestehen darin, daß es wohl ein wenig leichter aber auch entschieden preiswerter ist, als Sperrholz. Diese Vorteile werden zum größten Teil von der zusätzlich notwendigen Arbeit für die Verleimung der ersten Lage überschattet. Bei der zweiten Schicht werden Furniere wiederum zum bevorzugten, Lamelliermaterial.

Da die Aufgabe der ersten Lamellenschicht darin besteht, für eine gute Kernoberfläche zu sorgen, sollte man die dickste mögliche Sperrholzschicht aufbringen, damit man möglichst die steifste Oberfläche erhält. Um diese Steifigkeit zu unterstützen, sollte man die erste Lage in dem kürzesten Abstand über die Stringer laufen lassen; das ist meistens im Winkel von 90° zur Stringerrichtung. Die Gründe hierfür sind klar: wenn die erste Sperrholzlage in einem Winkel von 45° zu Stringern mit einem Abstand von 150 mm läuft, sind die Holzfasern auf 230 mm ohne Unterstützung; wenn diese Lage aber rechtwinklig zu den Stringern verläuft, sind die Holzfasern nur auf 150 mm nicht unterstützt, und die Form wird steifer. Die konstruktiven Anforderungen des Rumpfes und die Besonderheiten der einzelnen Bausituation können bewirken, daß der ideale rechte Winkel für ein bestimmtes Projekt unpraktisch ist. Dann muß man den besten Kompromiß suchen.

Vorbereitung von Sperrholzplatten für die erste Lamellierung

Beim Lamellieren mit Sperrholz gibt es aufgrund der beschränkten Lieferlängen von 2,44 m ein finanzielles Problem, da sehr viel Verschnitt anfällt. Wir lösen dieses Problem, indem wir an den beiden Enden einer Sperrholzplatte Schrägen sägen, und dann Streifen der geforderten Breite schneiden. Als nächstes schäften wir die einzelnen Paneele, zu Längen von manchmal bis zu 12 m, von denen wir dann die Streifen mit den richtigen Längen zuschneiden. (Siehe Kapitel 10 bezüglich richtiger Schäftungstechniken.) Mit dem Bandmaß mißt man am Rumpf die erforderlichen Plankenlängen mit einer Zugabe von ein paar Zentimetern und schneidet sie von den geschäfteten Streifen ab. Das Ergebnis ist der geringste Verschnitt (weniger als 5%) an Sperrholz. Bei den hohen Kosten für Sperrholz zahlt sich die zusätzliche Arbeit für das Schäften normalerweise mit großer Dividende aus.

Nachdem die Schäftungen fertig sind, schleift man die Kanten der Verbindungen entweder von Hand oder mit Maschinen glatt. Dann beschichtet und schleift man die Paneele vor Zuschnitt und Montage auf der Längsspantfläche einseitig vor.

Bild 21.13 – Beschichtung von 12,20 x 0,30 m Paneelen aus Plankenholz. Das Schäften von Holz zu solchen Längen reduziert die Verschnittrate.

Während man die 1,22 x 2,44 m Platten schneller beschichten kann, bevor man sie auf Breite schneidet, macht diese Art nach dem Schäften Probleme, da man sehr präzise schneiden müßte, weil die beschichteten Flächen bei der kleinsten Versetzung nicht mehr so leicht geschlichtet werden können.

Die maximale Dicke der Sperrholzpaneele, die verwendbar ist, ergibt sich aus der Rumpfkrümmung, über der die erste Schicht gebogen werden muß. Die meisten Rümpfe erfordern Sperrholz mit einer Dicke von 3 bis 6,5 mm, wobei 4 bis 5 mm die häufigste Anwendung findet .

Der wichtigste Punkt bei der Auswahl der Dicke ist, daß 6 mm-Sperrholz dreimal steifer ist, als 3 mm-Sperrholz und daher viel schwerer über enge Kurven gebogen werden kann. Eine Vorbeschichtung mit WEST SYSTEM Epoxidharz vergrößert die Biegesteifigkeit einer dünnen Sperrholzplatte. Es ist möglich, daß man mit einer gegebenen Dicke gerade noch eine Krümmung bewältigt, nach der Beschichtung aber dasselbe Stück zerbricht. Auf dem größten Teil einer Rumpffläche wird das kein Problem machen, aber es kann einige Knicke geben, an denen man die Paneele besser nicht beschichtet, damit man sie leichter biegen kann.

Wir haben einen Trick angewandt, eine dreilagige Platte über enge örtliche Kurven zu biegen, ohne die Dicke zu reduzieren. Dazu haben wir einen Sperrholzstreifen dazwischengeschäftet, so daß dessen Maserung im betroffenen Bereich in der entgegengesetzten Richtung zu den normalen Streifen verlief und dort nicht beschichtet, so daß er leicp.ter zu biegen war. Später verbessert die Beschichtung beider Flächen die Festigkeit und die Steifigkeit eines Stücks mit „falscher Richtung“ enorm.

Anbringen der ersten Lage

Vorrausgesetzt, man bringt die erste Lage senkrecht zur Stringerrichtung an, beginnt man mit der Hauptplatte in einer Mittschiffsposition, wie man es bei den anderen Lamelliermethoden auch tun würde. Man hält sie provisorisch an ihre Position und markiert den Umriß auf den Spanten und Stringern, die sie bedeckt. Eine dicke Epoxidharzmischung mit hoher Dichte wird an allen Stringern, Spanten, Füllstücken, Kiel und Steven, die mit dieser ersten Platte in Berührung kommen, aufgetragen. Die Mischung sollte so dick sein, daß sie alle Lücken überbrücken kann und, noch wichtiger, daß sie nicht an irgendwelchen Teilen herunterläuft, wenn sie aus den Klebestellen gequetscht wird.

Bild 21.14 – Klammem der ersten Plankenschicht an die Seiten. Man beachte den lamellierten Spant und die Auffüttemng oben rechts, sowie die Wasserlaußöcher (Nüstergatten) in den Stringern nahe der Auffütterung.

Man benutzt entweder Klammern mit breiten Rücken, die entfernt werden müssen, oder legierte Klammern mit schmalen Rücken, die man nicht entfernen muß, zum Andrücken und Fixieren bis das Harz ausgehärtet ist. Schmalschultrige Klammern sind schneller, da sie nicht herausgezogen werden müssen, aber sie sind teurer und nicht so leicht herauszuziehen, wenn man einen Stringer nicht getroffen hat. Die ersten Klammern setzt man an Stellen, wo man die Lage der Stringer einfach erkennen kann. Dann überträgt man aber die genaue Lage der Stringer, indem man exakte Linien zieht, an denen man sich beim Heften gut orientieren kann.

Bei der Leistenbauweise ist sauberes Fügen der ersten Lage sowohl aus ästhetischen wie aus konstruktiven Gründen sehr wichtig. Die Kanten der Platten müssen zusammengeleimt werden, um eine feste Kernoberfläche herzustellen. Sie müssen gut passen und korrekt zwischen den Stringern, wo sie keine Unterstützung haben, fluchten. Die Lage der Sperrholzstreifen ist absolut entscheidend für die Flucht der Kanten. Eine Kante in die falsche Richtung zu drücken, kann Spannungen in den Streifen ergeben, die die Kanten zum Verwerfen bringen.

Das Fügen kann bei dieser Bauweise sehr einfach sein. Man überlappt die Sperrholzpaneele leicht, während man sie provisorisch auf Position hält und zeichnet dann von der Innenseite des Rumpfes an, wobei man die Linie an den Stringern unterbricht.

Diese Linie sollte man jedoch nur zum groben Anpassen verwenden, da die eine Platte durch die Überlappung etwas angehoben ist und nicht flach auf dem Rumpf liegt.

Man kann bei der Längsspantbauweise auch Füllfügesysteme anwenden. Dazu bringt man nicht angepasste Sperrholzstreifen in gleichmäßigen Abständen entlang des Rumpfes an, als ob man das mechanische Anpassungssystem benutzt, das wir im Kapitel 19 beschrieben haben. Die Lücken zwischen den Planken sollten etwas kleiner als die Breite der Planken selbst sein. Provisorisch heftet man eine Platte mit Standardbreite über eine Lücke und markiert ihre beiden Kanten zum Beiarbeiten und Einpassen von der Innenseite aus. Der Vorteil davon ist, daß die Füllplatte beide festen Platten überlappt und einigermaßen genau am Rumpf anliegt.

Bei dem soeben beschriebenen Füllverfahren sollte man mit dem Beiarbeiten in der Mitte der Planke anfangen, so daß s\e dort wie angegossen paßt und dann mit einem Handhobel durch leichtes Abtragen zu den Enden hin einpassen, so daß die Platte bestens paßt und die Kanten schön fluchten. Bei der Block-Methode kann eine „wilde“ Kante mit genügend Tackerklammern gezähmt werden, bis das Harz ausgehärtet ist. Bei der Längsspantbauweise hat man jedoch nichts, woran man klammern kann, und man kann sich nur darauf verlassen, die Sperrholzstreifen in die richtige Position zu manövrieren, bis die Kanten von sich aus gleichmäßig liegen.

Der Hauptnachteil der Längsspantbauweise ist der außerordentlich hohe Zeitaufwand für das sorgfältige Anpassen der entscheidenden ersten Schicht. Wir können nicht deutlich genug betonen, daß man später enorm viel Zeit spart, wenn man sich Mühe gibt, die Kanten der ersten Schicht nicht nur gut anzupassen, sondern auch sauber auszurichten und zu verleimen.

Zum Verleimen der Plattenkanten bringt man eine gut an gedickte Epoxidharzmischung mit hoher Dichte auf beide zu verbindende Kanten. Ein kleiner Pinsel oder ein flacher Stab eignen sich gut zum Auftragen einer entsprechenden, von der Passungsgüte abhängigen, Epoxidharzmenge direkt auf die Kanten. Die Schwierigkeit liegt hier darin, beim Zusammenfügen der Kanten das Harz nicht überallhin zu bekommen. Das ist nicht so schlimm, wenn man nur eine Kante einstreicht, aber bei der Füllanpassungsmethode, wo man zwei Kanten gleichzeitig zusammenfügt, kann es ganz schön schmierig werden.

Nachdem die Sperrholzplatten angeheftet worden sind, erkennt man, daß selbst bei gutem Anpassen und Verlegen noch einige Kanten verworfen sind, die man korrigieren muß, bevor der Kleber aushärtet. Die meisten Verwerfungen sind nicht so schlimm, erfordern nur wenig Druck zum Korrigieren. Zur Lösung dieser Probleme gibt es hauptsächlich zwei Methoden, wovon beide zunächst die Reinigung der Innen-und Außenseiten der Verbindungsbereiche von herausgequollenem Kleber erfordern. Die erste Methode verwendet kurze Klammern und kleine Sperrholz-Abfallstückchen von ungefähr 25 x 50 mm. Die Sperrholzbrettchen werden direkt in den Gebieten, die nicht fluchten aufgelegt. Man klammert durch das Sperrholzbrettchen in die „zu niedrige“ Seite, wobei sie mit der anderen Kante bündig gezogen wird. Die Klammern sollten so kurz sein, daß sie nicht die Innenseite dieser ersten Schicht durchstoßen. (Man nimmt viele dieser kleinen Brettchen und Klammern, überall, wo Bedarf besteht.)

Die zweite Methode ist entwickelt worden, um die schwierigeren Verwerfungen zu beheben, wo größte Kräfte nötig sind, die Sperrholzkanten in Flucht zu bringen. Diese Methode nutzt zwei gegenüberliegende ungefähr 40 mm quadratische Sperrholzbrettchen. Durch das Brettchen, das außen verwendet werden soll, bohrt man ein Loch mit dem Schaftdurchmesser einer Nr. 8 Schraube und dann bohrt man ein kleineres Pilotloch für dieselbe Schraubengröße in das innere Brettchen. Man steckt eine Nr. 8 Blechschraube mit Unterlegscheibe durch das äußere Brettchen und eine Bohrung in dem Spalt zwischen den beiden verworfenen Kanten und schraubt die beiden Brettchen fest zusammen, bis die Kanten richtig fluchten[1]. Dies ist eine narrensichere Lösung, die aber mehr Zeit und Aufwand als die Klammerversion erfordert, und wir benutzen sie nur, wenn es absolut nicht anders geht. Bei beiden Methoden legt man Polyäthylenfolie oder Wachspapier zwischen die Sperrholzplättchen und die Kanten, so daß sie nicht zusammenkleben. Selbst ohne Schutz ist es keine große Schwierigkeit, die Sperrholzbrettchen mit einem Stecheisen abzuschälen.

Ein weiterer Faktor, der die Fluchtung der Kanten beeinflußt, ist die Breite der Planken. Wenn ein Paneel wegen der vorhandenen sphärischen Krümmung zu breit ist, neigen die Kanten dazu, sich zwischen den Stringern stark zu verwerfen. Dies

[1] Aufgrund schlechter Ausrichtung können manchmal Spalten zwischen den Sperrholzkanten entstehen.

Bild 21.15 – Spiegel eines IOR-Halbtonners. Klammerbrettchen bringen die Kanten der Sperrholzplanken zwischen den Stringern zum Fluchten. Man beachte die Klammerreihen, die auf die Stringer schließen lassen.

verstärkt nicht nur die Fluchtungsprobleme bei den Kanten, sondern kann außerdem zusätzliche Arbeit beim Straken vor der Montage der zweiten Lage kosten. Es ist immer erstrebenswert, die größte mögliche Breite zu verwenden, weil man dann etwas Anpassungsarbeit sparen kann, indem weniger Kanten zu bearbeiten sind. Trotzdem ist man bei diesem Verfahren lieber etwas konservativer und benutzt schmalere Streifen, als man für die Block-Methode oder die Leistenbauweise wählen würde; dies kann auf Dauer Zeit sparen, da man · zum Fluchten der Kanten und Straken nicht so viel Arbeit benötigt.

Die erste Sperrholzlage wird normalerweise entlang der Kiellinie gestoßen. Das ist aber nicht unbedingt notwendig, wenn es von Vorteil ist – und der Rumpf es erlaubt – diese Verbindung in ein anderes Gebiet, wie den Kimmstringer, zu verlegen. Wenn die Paneele an Spiegel, Vorsteven und Balkweger auslaufen, läßt man sie beim Zuschneiden ca. 25 mm überstehen, so daß man die folgenden Schichten etwas weiter als auf der eigentlichen Rumpfoberfläche verleimen kann. Dies sichert guten Lamellierdruck und weniger Lunker im fertig besäumten Rumpf. Beim Verleimen der ersten Lage an Kiel, Vorsteven und Balkweger muß man besonders sogfältig sein. Dies sind nämlich die kritischen Punkte bei jedem Boot; eine gute Verbindung der ersten Schicht mit diesen Elementen ist daher sehr wichtig.

Säubern

Wenn man eine schöne, naturfarbene Innenseite bei der Längsspantbauweise erreichen möchte, ist gutes Säubern besonders wichtig und, unglücklicherweise, zeitraubend. Während des Einbaus der Sperrholzplanken über dem Spantgerüst muß man den überflüssigen Kleber, der aus den Verbindungen hervorquillt, entfernen, bevor er vollständig hart ist. An dieser Stelle betonen wir nochmal, daß der Kleber wegen der zusätzlichen Schwierigkeiten beim Reinigen genügend an gedickt sein sollte, so daß er nicht an den Stringern oder der Außenhaut herunterfließt, wenn er herausgedrückt wird. Es ist nicht nötig, den Kleber sofort zu entfernen; es ist sogar ein bischen einfacher, das Harz erst zu entfernen, wenn es schon etwas geliert ist oder schon mit dem Härten begonnen hat. In dieser Anfangsphase wird der Kleber deutlich dicker, verliert an Haftfähigkeit zu anderen Oberflächen und ist am leichtesten zu entfernen. Läßt man die Aushärtung weiter fortschreiten, wird es immer schwieriger, bis er im halbgehärteten Zustand fast unmöglich zu entfernen ist. Abhängig von der Temperatur, bei der man arbeitet, und den Aushärtungsraten der verwendeten Harzmischung, sollte man seine Arbeit so einrichten, daß man in gegebenen Intervallen während der Verleimung die Innenseite säubert. Wenn zwei oder mehr Mitarbeiter die Streifen außen anbringen, kann es nötig sein, daß einer die ganze Zeit die Innenseite reinigen muß, um mitzuhalten.

Das Reinigen ist auf vorbehandelten Innenflächen einfacher und effizienter. Man kann das meiste herausgedrückte Harz mit einem ca. 25 mm breiten Spachtel oder einem winkligen, geschärften Stab (wie einem Zungenspatel) aufnehmen. Das entfernte überflüssige Harz wird an einem Becher abgestreift, wobei man gleich die Klinge einigermaßen reinigt. Gelegentlich wischt man das Werkzeug mit einem Lappen und Lösungsmittel ab, damit überflüssiger Kleber, der aushärtet, entfernt wird.

Zum abschließenden Reinigen nimmt man ein gutes Lösungsmittel. Die Verbindungsstellen wäscht man mit einem lösungsmittelgetränkten sauberen Lappen ab, um überflüssigen Kleber zu entfernen und das restliche Harz zu glätten, so daß man später nicht schleifen muß. Das überflüssige Epoxidharz mischt sich im Lappen mit dem Lösungs-

mittel. In Verbindung mit dem Wischen wird die Fläche so glatter hinterlassen als beim Schleifen. Viele Lösungsmittel, inklusive denaturierter Alkohol, sind gut dafür geeignet. Gegen das Einatmen der Lösungsmitteldämpfe sind geeignete Gegenmaßnahmen zu treffen.

Während der Säuberungsarbeiten sollte man sicherstellen, daß alle Lücken zwischen den Sperrholzpaneelen gut mit Kleber gefüllt und einigermaßen glatt sind. Manchmal sind die Spalte so breit, daß das abschließende Wischen zu viel Harz aus dem Bereich wegnimmt. In einem solchen Fall spachtelt man etwas Kleber in den Spalt, läßt die überflüssige Menge innen herausdrücken und schleift diesen Bereich von Hand glatt, nachdem das Harz ausgehärtet ist. Es ist wichtig, diese Kantenverbindungen gut zu kontrollieren, weil durch irgendwelche ungefüllten Spalte beim Verleimen der nächsten Lage möglicherweise Harz zur Innenseite sickert und runterläuft.

Wenn die erste Schicht fertig ist, und das Epoxidharz ausgehärtet ist, bereitet man das grobe Straken vor, indem man sämtliche Fluchtungsbrettchen entfernt und provisorische Klammern herauszieht. Das Straken macht man genauso wie bei anderen Bauweisen, nimmt aber scharfe Handhobel anstelle von Schleifklötzen, da die Längsspantoberflächen im Vergleich zu den anderen Oberflächen etwas flexibler sind. Die erste Lage eines Längsspantrumpfes widersteht manchmal dem Straken mit Schleifklötzen, wobei die Flexibilität das Straken mit einem scharfen Schlicht- oder Putzhobel jedoch nicht beeinflussen kann.

Es ist nicht ungewöhnlich, daß man ein paar niedrige Stellen findet, die aufgefüllt werden müssen. Dazu vermischt man leichten Zuschlagstoff und Epoxidharz zu einem schleifbaren Ziehspachtel und verwendet dies zum Füllen von solchen Gebieten und anderer Lücken. Bei Lücken, die ganz durch die erste Lage gehen, muß man besonders sorgfältig sein: Sie müssen gefüllt werden, damit kein Harz beim Aufbringen der zweiten Verleimung durchsickern kann.

Aufbringen der zweiten Lage

Wenn man die erste Lage grob gestrakt hat und zum Aufbringen der zweiten Lage bereit ist, sollte man alle Stringerpositionen auf der Außenseite der ersten Lage genau markiert haben, so daß man genau weiß, wo man heften kann. Wir kennzeichnen die Stringerposition grundSätzlich auf jeder Platte während des Einbaus, und die meisten dieser Markierungen überstehen das grobe Straken.

Bevor man die zweite Lage aufbringt, beschichtet man die erste Lage einmal mit WEST SYSTEM Harz, um die Steifigkeit zu vergrößern und die Fläche zum Klammern fester zu machen. Dies läßt man aushärten, und schleift dann mit einem einfachen Polierer mit einer weichen Schaumscheibe leicht über. Die beschichtete Oberfläche besitzt außerdem größere Klammer-Haltefähigkeiten, was zur Vergrößerung des Anpressdrucks für die zweite Schicht beiträgt. Und schließlich braucht man nur noch die Klebefläche der zweiten Schicht mit Kleber einzustreichen. Dies spart etwas Zeit und eine ganze Menge Schmiererei.

Im allgemeinen tragen wir etwas mehr Kleber bei der zweiten Lamellierung als normal auf, um Mängel auszugleichen. Die erste Lage erreicht nicht den erstklassigen Strak, wie man es von der Block- oder der Längsspantbauweise kennt, also verlassen wir uns darauf, daß das angedickte Harz einige, der möglicherweise vorhandenen Lücken und Hohlräume auffüllt. Das zweite, schwierigere Problem ist, daß in manchen Bereichen des Rumpfes nur begrenzt Druck aufgebracht werden kann, wenn die zweite Lage aufgebracht wird. Das bedeutet, daß das auf die zweite Lage gestrichene Harz frei fließend sein soll, nicht zu dick, sondern fließfähig. Wir benutzten leichten Füllstoff, mit Harz zu einer dicken Konsistenz vermischt. In Bereichen, wo wir größere Lücken erwarten, tragen wir angedicktes Harz in großen Mengen sowohl auf die erste Lage als auch auf die zweite Lage auf, um sicher zu gehen, daß Lücken aufgefüllt werden.

Man kann ohne Schwierigkeiten bei der zweiten Schicht Furniere anstelle von Sperrholz verwenden. Die allgemeine Instabilität von Furnier ist im Weiteren kein Problem mehr, da man jetzt eine einigermaßen gute Form hat, auf die man klammern kann. Mit der Verleimung der zweiten Schicht fängt man in der üblichen Art und Weise mit einem Hauptfurnier in der Rumpfmitte in einem beliebigen Winkel an. Die folgenden Furniere werden beiderseits des Hauptfurniers verlegt, entweder von Hand oder mit einem mechanischen Anpassungsverfahren gefügt. Als einziges weicht die Klammermethode von dem Standardverfahren ab, mit dem die zweite Lage mit der ersten verleimt wird.

Die Bereiche, in denen Stringer und Spanten liegen, sind die einzigen wirklich festen Stellen der Formoberfläche und man sollte sie gut nutzen, um die SchiChten zu verleimen.

Nachdem man die Furniere verlegt und an Balkweger, Spiegel, Vorsteven und allen anderen festen Punkten befestigt hat, wendet man sich den dazwischen liegenden Bereichen zu. Um an diesen Stel-

len angemessenen Druck aufzubringen, verwendet man ausreichend kurze Klammern, die die Innenseite der ersten Schicht nicht durchstoßen und keine Löcher hinterlassen, die man wieder auffüllen muß. Besteht die erste Lage aus 4 mm-Sperrholz und die zweite Schicht aus 3 mm-Furnier, dann kann man ohne weiteres 6 mm lange Klammern mit breitem Rücken nehmen, um ausreichenden Druck, ohne durchzuschießen, zu erzeugen.

Da die Flexibilität der Form ein Versenken der Klammern behindert, müssen alle entfernt werden, die zwischendrin liegen. Man nimmt Furnierabfälle oder Plastikband, um Zeit zu sparen. Wenn die Klammern zu lang sind, also die Innenseite der Verleimung durchstoßen, sollte man die Eindringtiefe mit Hilfe dickerer Klammerstreifen oder verdoppelter Standardplastikbänder einstellen.

Kürzere Klammern setzt man in flexibleren Bereichen am besten, indem man das Klammergerät fest, mit stärkerem Druck als normal auf das Furnier drückt. Der zusätzliche Druck hilft der Klammer, sich bis zur Schulter zu versenken und so die maximale Haltekraft zwischen den beiden Lagen aufzubauen. Wir erinnern uns, daß man den Druck selber aufbringen muß, den die Klammer nur aufrecht hält. Wenn man das Klammergerät zu locker hält, erreichen die Klammern nicht die richtige Tiefe und haben nicht die beste Haltekraft. Wenn die Stringer relativ eng zusammen liegen und ein gut gekrümmter Rumpfbereich vorliegt, benötigt man nur wenige Klammern zwischen den Stringern, da die Furniere selbst ausreichenden Anpressdruck entwickeln.

Im Allgemeinen kann man sagen, ob ein Furnier für eine Verleimung fest genug anliegt, indem man mit dem Finger während des Verleimungsvorgangs auf die verdächtigen Stellen drückt. Bei leichtem Fingerdruck bewegen sich alle Lücken zwischen den Furnieren auf und ab. Lunker machen auch gerne leise Geräusche, wenn das Harz hin und her bewegt wird. Im Zweifelsfall immer klammern; kein Boot hat bisher unter zu vielen Klammern gelitten, aber es gab ein paar, die unter Hohlräumen gelitten haben.

Abhängig von dem Stringerabstand setzen wir zwei bis drei kurze Klammern entlang der Kanten, wo sie sich zwischen den Stringern treffen. Diese sind meistens die zuletzt gesetzten Klammern in der Verleimung; dies läßt dem überflüssigen Harz die Möglichkeit, von der Furniermitte nach außen zu den Kanten zu fließen, bevor wir den Druck an den Kantenbereichen erzeugen. Manchmal kann eine wilde Kante oder Verwerfung im Furnier auftreten, die nicht mit den kurzen Klammern heruntergedrückt werden kann. Dies kann man beseitigen, indem jemand von innen provisorisch ein kleines Holzklötzchen gegenhält, damit man lange Klammern durch die erste und die zweite Lage schießen kann und beide mit dem Klötzchen zusammenzieht.

Prüfen der zweiten Lage auf Lücken

Nachdem das Harz ausgehärtet ist, und man die breitschultrigen Klammern gezogen hat, prüft man die zweite Lage sorgfältig, um Lücken zu entdecken, die sich etwa zwischen den Schichten entwickelt haben. Dazu streicht man mit seiner Hand leicht über die Rumpfoberfläche und hört auf einen, für die meiste Rumpfoberfläche unnormalen Klang. Ein Furnierbereich, der nicht gut mit dem darunterliegenden verleimt ist, schwingt in einer anderen Frequenz mit einem deutlich höheren Ton, als dem von einem gut verleimten Gebiet. Diese verdächtigen Bereiche markiert man auf dem Rumpf.

Es gibt zwei Wege, Lücken zu füllen. Beim ersten, der einfacher ist, wenn man verschiedene weitere Lagen lamellieren möchte, schneidet man die nicht verleimten Furniere aus und entfernt sie. Die entstandene Lücke füllt man mit einer Mischung aus Epoxidharz und jeweils gleichen Teilen leichter und schwerer Zuschlagstoffe auf. Wenn diese Mischung ausgehärtet ist, strakt man die Oberfläche glatt und bringt weiteres Furnier darüber an. Bei der zweiten Methode zum Füllen der Lücken injiziert man Harz mit einer Spritze direkt in das hohle Gebiet. Wenn es groß genug ist, bohrt man einige Löcher an verschiedenen Stellen des Hohlraums, um sicherzustellen, daß man ihn tatsächlich vollständig mit Harz auffüllt.

Sobald man festgestellt hat, daß die zweite Schicht konstruktiv astrein ist, erkennt man, daß die Rumpfoberfläche ziemlich steif ist und eine feste Form bietet, über der man die folgenden Schichten leicht in der normalen Art und Weise, wie bei der Block-Methode oder der Leistenbauweise, verleimen kann. Die einzige Überlegung, die man berücksichtigen muß, ist, daß man die dritte Schicht nicht mit Klammern anbringen darf, die durch die vorbehandelte Innenseite der Lamellierung brechen. In Bezug auf Verleimungsvorgänge und komplette Beschreibungen des Strakens und der Endbehandlungstechniken verweisen wir auf vorhergehende Kapitel. Der Längsspanten-Rumpf wird später genauso umgedreht, wie ein Leistenbau-Rumpf.

Kapitel 22

Sperrholz-Knickspant-Bauweise

Rundspantrümpfe können aus Furnieren oder Sperrholzstreifen laminiert werden. Im Laufe der Jahre haben wir jedoch auch WEST SYSTEM-Markenepoxidharz zusammen mit Sperrholzplatten zum Bau von Knickspantrümpfen verwendet. Viele Rumpfformen sind für Bauweisen mit Sperrholzplatten geeignet. Da Sperrholz bereits schichtverleimt ist, ergeben sich große Arbeitszeit- und womöglich Materialeinsparungen, wenn man es in der Plattenform beim Rumpfbau verwenden kann.

Die Einführung von preiswerten Sperrholzplatten war eine der bemerkenswertesten Entwicklungen im Holzbootsbau. Kurz nach dem Zweiten Weltkrieg fing man an, Sperrholzplatten beim Bau aller Arten und Größen von· Einzel-und Serienbooten umfangreich einzusetzen . . Es wurde wegen seiner großen Festigkeits- und Steifigkeits-Gewichtsverhältnisse, seiner Dimensionsstabilität, seiner Festigkeit in mehreren Richtungen und der praktischen Plattengrößen von 1,22 x 2,44 m, aus denen die Teile leicht ausgeschnitten werden konnten, sofort angenommen. Der hohe Druck und die guten Kleber, die bei der Herstellung von Sperrholz verwendet werden, ergeben qualitativ hochwertige Schichtverleimungen.

Sperrholz hat ohne Frage zur Qualität im Bootsbau beigetragen. Das Material ist aber trotzdem nicht perfekt. Sperrholzboote hatten ernste Instandhaltungsprobleme und in manchen Fällen eine kurze Lebensdauer. Diese Nachteile waren oft so schlimm, daß einige speziell für Sperrholz entworfene Boote – die populären *Sunfish™* und *Sailfish™* Segelboote beispielsweise – jetzt in GFK gebaut werden, das meistens schwerer ist. Das Sperrholz wurde nicht wegen der mechanischen Eigenschaften durch GFK ersetzt, sondern weil es relativ einfach zu pflegen ist. Wir lösen viele der Pflege- und Haltbarkeitsprobleme, indem wir WEST SYSTEM-Epoxidharz bei Bauweisen mit Sperrholzplatten verwenden.

Unsere Knickspant-Bauweisen unterscheiden sich deutlich von den Standardtechniken, weil wir Harz zum Verbinden sämtlicher Rumpfstücke und Teile nehmen, während die traditionelleren Bootsbauer Schrauben, Nägel und andere Befestigungselemente verwenden. In der Vergangenheit waren, zusammen mit Befestigungselementen, Resorcin- und verschiedene, Harnstoffleime gebräuchlich, aber niemand erwartete, daß der Kleber allein die notwendige Verbindungsfestigkeit aufbringen kann. Totales Kleben, bei dem zu 100% jede einzelne Verbindung mit einer Mischung aus Epoxidharz und Zuschlagstoffen hergestellt wird, ist heute nicht nur konstruktiv möglich, sondern bietet meistens auch die einfachste und wirtschaftlichste Art, Sperrholzplatten zu verbinden.

Unsere Methoden weichen von den typischen Knickspantbauweisen auch darin ab, daß wir Beschichtung und Versiegelung betonen. Wir beschichten alle Sperrholzplatten während und nach dem Bau mit Epoxidharz, wobei das Holz zur Stabilisierung seines Feuchtigkeitsgehalts und zum Schutz gegen schädliche Einflüße der Feuchtigkeit eingekapselt wird. So können wir sehr leichte, steife, stabile und langlebige Rümpfe bauen, indem wir die guten Klebe- und Versiegelungsqualitäten von WEST SYSTEM-Harz in Verbindung mit gutemSperrholz und Massivholz nutzen.

Das Beste an der ganzen Sache ist jedoch, daß Sperrholz vermutlich das einfachste und schnellste Material zum Bau von Knickspantrümpfen ist. Dafür gibt es eine Menge Gründe. Die Abwicklung eines Knickspanters ist beispielsweise stark vereinfacht, da der größte Teil seiner Oberfläche in einer zweidimensionalen Ebene liegt. Wenn man einen sphärisch gekrümmten Rumpf abwickelt, muß man alle Punkte seiner Oberfläche bestimmen; bei einem Knickspantrumpf braucht man nur die Lage von Kimm, Kiel und Seite Deck auf dem Schnürboden bestimmen. Dies vereinfacht und beschleunigt die Schnürbodenarbeit zum größten Teil, und läßt einen Spantriß im Bruchteil der normalerweise für einen Rundspanter notwendigen Zeit entstehen. Außerdem verringert sich die für Anzeichnen, Schneiden und Montieren der provisorischen und der festen Spanten benötigte Zeit, da der Vorgang viel einfacher ist.

Montage der Spanten

Bei anderen Bootsbaumethoden werden Mallspanten entfernt, wenn der Rumpf fertig ist. Bei der Knickspantbauweise verbleiben sie jedoch im Rumpf, da die ebenen Flächen die Unterstützung durch ein bedeutendes Rahmenwerk zur Erzielung angemessener Steifigkeit benötigen. Obwohl die Spanten auch aus Sperrholz gebaut werden könnten, ist die Verwendung von geradem Vollholz strukturell und wirtschaftlich gesehen besser.

Normalerweise entscheiden wir schon in einer frühen Phase des Projekts über die Standardgröße des Rahmenmaterials (25 x 75 mm-Leisten sind üblich). Die beiden bestimmenden Hauptfaktoren für die Größe des Spantenmaterials sind Gewicht und Größe des Bootes und die Abmessungen der Stringer und Kimmweger, die in die Spanten eingelassen werden. Ein gekerbter Spant muß die erforderliche Lastaufnahmefähigkeit beibehalten. Setzt man zum Beispiel 20 x 40 mm-Stringer hochkant in 20 x 75 mm Spanten ein, kann man nur noch die restlichen 35 mm des Spantenmaterials als lasttragend werten, bis die Außenhaut aufgebracht ist. Dann muß man entscheiden, ob 35 mm ungekerbten Spantholzes für die spezielle Situation angemessen ist.

Nachdem man sich für eine Standardabmessung des Spantmaterials entschieden hat, bereitet man zunächst genügend entsprechendes Holz vor, von dem man alle Spanten des Bootes bauen kann. In vielen Fällen kann man Zeit sparen, wenn man die innen liegenden Kanten abrundet oder einen Radius fräst und dann schleift und beschichtet, bevor man das Holz aufschneidet und zu Spanten montiert.

Alle Verbindungen der Spanten liegen entweder an Kimmwegern oder dem Kiel und müssen mindestens so fest sein wie das Spantmaterial für sich. Ein Verbindungssystem, das wir mit großem Erfolg angewendet haben, besteht aus der einfachen Stoßverbindung der beiden Hölzer und beidseitig angebrachten Sperrholzlaschen. Die Maserung der Laschen sollte man so ausrichten, daß die Fasern jeder Sperrholzlage die Verbindungsnaht unter einem 45°-Winkel kreuzt und somit größte Festigkeit geben. Der Genauigkeit wegen führt man die Montage in zwei Schritten durch. Zunächst schneidet man das Spantholz auf korrekte Länge, wobei man die einzelnen Stücke sorgfältig zu guten Stoßverbindungen als den einzigen Berührungspunkten untereinander anpasst. Um die Genauigkeit zu gewährleisten, richtet man die Teile provisorisch auf einem originalgroßen Spantriß aus, den man auf Papier oder Mylar™ übertragen hat, und richtet sich dabei nach den Originallinien. Wenn man alle Verbindungsstellen zu seiner Zufriedenheit angepaßt hat, legt man Wachspapier oder Polyäthylenfolie unter die zu verleimenden Kanten, damit sie nicht an der Unterlage festkleben. Dann streicht man die Kanten mit Kleber ein und fügt sie auf dem Spantriß wieder zusammen. Die Teile des Spants fixiert man in der richtigen Lage mit kleinen Nägeln (am Rand) oder Gewichten, bis der Kleber ausgehärtet ist.

Als nächstes befestigt man die Sperrholzlaschen jeweils nur auf der einen Seite. Die Größe und die Dicke des Laschenmaterials sind normalerweise proportional zu dem Schnittholz der Spanten. Als

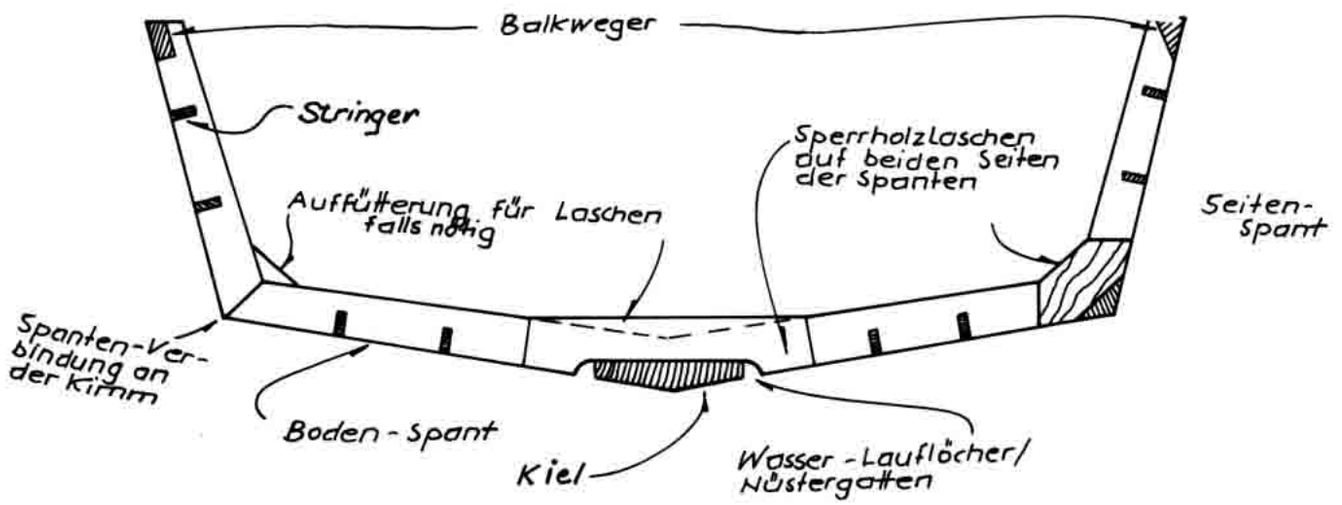


Bild 22.1 – Typischer Spant mit Verstärkungsknien, Füllstücken und der Anordnung der Konstruktionsverbände.

typische Maße verwenden wir 6 bis 10 mm dicke Sperrholzlaschen auf 20 mm dickem Spantenholz. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es noch keine Dimensionierungsvorschriften für dieses Verhältnis; wenn man aber im Zweifel ist, macht man einen Bruchversuch mit einem Probestück. Wenn der Bruch in der Verbindung auftritt, dimensioniert man die Laschen größer.

Da wir die Laschen in wenigen Standardradien bauen, können wir sie schon vor der Montage auf den Spanten abrunden, schleifen und beschichten. Es ist nicht notwendig, sie kreisförmig herzustellen, je mehr die Laschengrößen und – radien aber standardisiert sind, um so mehr Zeit und Arbeit spart man bei der Herstellung und Montage. Daher sollte man die aufgeschnürten Spanten studieren, um die beste Laschenform für sein Boot zu bestimmen.

Zum Kleben der Laschen verwendet man eine Klebermischung hoher Dichte, und nimmt Klammern oder Zwingen zur Erzeugung des provisorischen Anpressdrucks. Zwingen sind einfacher in der Anwendung, also verwendet man sie wo es möglich ist. Zum Klammern kann man sowohl schmale, als auch breitschultrige Klammern nehmen. Die zuerst genannten können im Rumpf bleiben, während man die anderen besser entfernt, wenn der Kleber ausgehärtet ist. Man versichert sich, daß keine Klammern in Bereichen zurückgelassen werden, die noch an geschrägt werden.

Nachdem die Laschen auf beiden Seiten der Verbindungen angebracht worden sind, befestigt man einen Querriegel, wie in Kapitel 14 beschrieben, als zusätzliche Verstärkung in der oberen Hälfte des Spants. Bei besonders breiten oder unhandlichen Spanten verwendet man zusätzlich Diagonalstreben. Dies dient der Einhaltung der Maße, wenn die Spanten zum Anbringen der Laschen auf der anderen Seite umgedreht werden.

Wenn man die Laschen auf beiden Seiten angebracht hat, legt man den Spant erneut auf den Spantriß und überprüft die Genauigkeit. Die Mittellinie, entsprechende Wasserlinien und Seite Deck werden angezeichnet, wie im Kapitel 14 besprochen. Wasserlauflöcher werden sinnvollerweise zu diesem Zeitpunkt in der Lage bestimmt, ausgeschnitten und endbehandelt.

Die Spanten werden so weit wie möglich vor dem Einbau in die Helling vorbehandelt. Dies kann man auch schon machen, bevor die Markierungen für die Mittellinie, die Wasserlinien und Seite Deck angebracht werden. Wenn man das Spantholz und die Laschen bereits vorbehandelt hat, bessert man es jetzt nur noch aus, so daß alle Oberflächen beschichtet sind.

Aufstellen

Der Vorgang, Knickspanten in der Helling aufzustellen, ist der gleiche, wie der Standardvorgang, der im Kapitel 15 beschrieben ist. In der Praxis sind Knickspanten aber leichter als normale Spanten aufzustellen, weil die Kimmen als Orientierung zum Ausrichten dienen, mit denen sich leichte Unregelmäßigkeiten in der Spantposition schnell feststellen lassen. Manchmal sind die Spanten zwischen den Knicks und dem Kiel gerade, aber in Bereichen, wo die Rumpflinien sich abrupt verwinden oder ausfallen, wie bei dem Vorschiff eines schnellen Motorbootes, sind die Spanten gekrümmt konstruiert, so daß sie die abgewickelte Form des Sperrholzes aufnehmen[1].

Knickspanten zu straken ist auch bedeutend einfacher, als runde Spanten zu straken. Im Anfangsstadium des Strakens sind zunächst nur die Kiel-, Kimm-und Balkwegerbereiche entscheidend. Man legt eine Latte auf halbe Höhe zwischen Kimmweger und Kiel oder Kimmweger und Balkweger und nimmt notwendige Korrekturen an den Spanten vor. Dann bewegt man die Latte in beiden

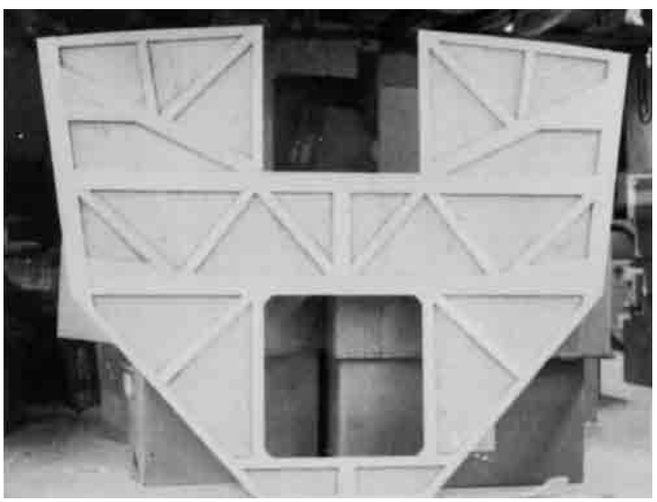


Bild 22.2 – Lastaufnehmende Schotten können aus zwei dünnen Sperrholzplatten mit zwischenliegendem Rahmenwerk gebaut werden. Oben gezeigte Schottanordnung nimmt die Krafte des Hauptbeams der Seitenrümpfe eines Trimarans auf.

[1] In diesen Fällen setzt sich die Rumpfform aus einer Reihe von Kegeln und/oder Zylindern zusammen. Das Sperrholz ist immer noch entlang bestimmter Elemente gerade, aber diese Elemente müssen nicht mehr parallel zu den Spanten sein. Der Entwurf eines abgewickelten Sperrholzrumpfes kann ziemlich komplex sein. In Bezug auf nähere Informationen empfehlen wir *Modern Boatbuilding* von Edwin Monk‘ Chales Scribner‘s Sons, N.Y., 1973; oder *Skene‘s Elements of Yacht Design* von Francis S. Kinney; Dodd, Mead & Company, N.Y., 1973.

Bild 22.3 – Bei dieser Helling hat der Erbauer die Kimmweger eingebaut und strakt die Spanten.

Richtungen und überprüft die Schmiege der Spanten, legt eine weitere Latte vom Kimmweger zum Kiel und vom Kimmweger zum Balkweger auf die Spanten, um nach unregelmäßigen Kurven zu suchen.

Wenn die Helling soweit ist, und die Spanten schließlich gestrakt sind, werden Vorsteven, Kiel und Spiegel, wie im Kapitel 16 beschrieben, eingebaut. Die Plattensperrholz-Bauweisen sind insofern mit der Längsspantbauweise vergleichbar, als sie auch Spanten und Stringer als Versteifung einer dünneren Außenhaut verwendet, aber es gibt zwei grundsätzliche Unterschiede zwischen den beiden Bauweisen. Bei Sperrholzplatten sind Stringer während der Bauphase zur Unterstützung nicht immer erforderlich. Die Stringer werden nur ganz geringfügig belastet, wenn die Sperrholzplatten auf den Rumpf gebracht werden, so daß man sich um die Durchbiegung der Stringer im allgemeinen kaum Gedanken machen muß. Die Stringergröße kann also nach den konstruktiven Erfordernissen des Rumpfes anstatt nach den Forderungen des Bauens dimensioniert werden.

Der zweite Unterschied liegt in der Verwendung von *Kimmwegern,* Längsverbänden, die als Längsspanten zur strukturellen Stützung an den Kimmverbindungen eingesetzt werden und beim Verbinden der Platten entscheidend sind. Bei Sperrholz-Knickspant-Bauweisen bieten die Kimmweger ausreichende Klebeflächen, um die Platten zusammenzuhalten. Sie gewährleisten auch einen gewissen Schutz in diesen verwundbaren Bereichen des Rumpfes. Die Kimmweger sollten Verbindungen sein, die ein größeres Festigkeitspotential als die Sperrholzplatten bieten.

Wie Bild 22.4 zeigt, gibt es viele brauchbare Arten, Kimmverbindungen herzustellen. Die scharfen Kanten, die normalerweise durch diese Techniken entstehen, stören jedoch die hydrodynamische Strömung, was ein großer Nachteil der Knickspantbauweise ist. Die scharfen Kanten abzurunden, verringert natürlich das Problem, erfordert aber auch innovative Verbindungstechniken, die große Radien ohne Festigkeitseinbußen bieten.

Einige Konstruktionen, wie das internationale Fireball-Dinghy zum Beispiel, haben zwei Knicke, jeweils in einem flacheren Winkel, an beiden Rumpfseiten. Diese neigen dazu, viel Hirnholz an den überlappenden Bereichen freizulegen. Bei dem üblichen Vorgang vermeidet man, Hirnholz am Boden offen zu lassen, also wurde der Boden zuletzt aufgebracht, so daß das Hirnholz nur an den Seitenflächen offen ist. Gut mit WEST SYSTEM-Epoxidharz getränktes Hirnholz hat sich als sehr robust und abriebfest erwiesen. Die Knicke bei diesem Rumpftyp werden jedoch härter als alle anderen Teile des Rumpfes beansprucht, so daß es sinnvoll ist, in diesen gefährdeten Bereichen zusätzlich Glasfasern aufzubringen, damit die Abriebfestigkeit vergrößert wird, wenn harte Beanspruchung zu erwarten ist. Glasfasergewebestreifen, erhältlich in 75 und 150 mm Breite, kann an Kiel und den Knicken ohne großen zusätzlichen Aufwand aufgebracht werden.

Die Herstellung eines typischen dreieckigen Kimmwegers beginnt damit, das hierfür verwendete Schnittholz der späteren Form grob anzugleichen. Dann wird es auf richtige Länge geschäftet und auf der Helling an den Spanten angebracht. Nun wird jeder Spant eingekerbt, damit er den Kimmweger zum abschließenden Straken aufnehmen kann. Um diesen Vorgang zu beschleunigen, macht man sich aus einem kurzen Abschnitt des grob geschnittenen Kimmwegers eine Lehre. Beim Auslegen der Kerben berücksichtigt man die Verwindung des Stringers, während er zum Bug und zum Heck geführt wird. Der Winkel jedes Spants entlang des Kimmwegers ist anders und das muß man mit dem Winkel des Kimmwegers ausgleichen. Die Winkel änderung teilt man jeweils auf, so daß man die Klebefläche auf der einen nicht auf Kosten der anderen Seite vergrößert. Man kann die Winkeländerung und die Tiefe der Kerben vom Spantriß auf dem Schnürboden erkennen.

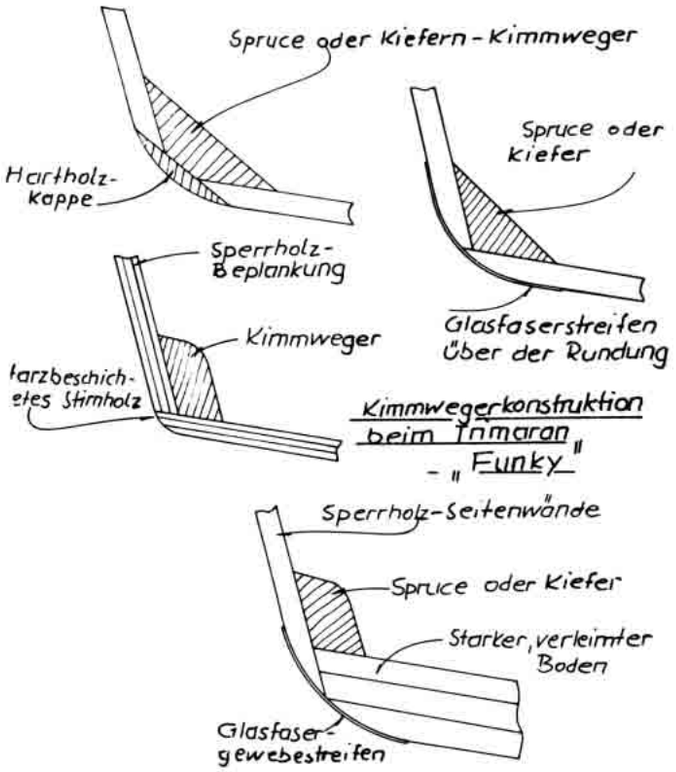


Bild 22.4 – Typische Kimmwegerkonstruktionen.

Wenn man mit dem Kerben und Anpassen für den Stringer fertig ist, verleimt man ihn mit den Spanten, wobei Schraubzwingen zum provisorischen Anpressen verwendet werden, bis der Kleber ausgehärtet ist. Stahl-Holzschrauben, die später wieder entfernt werden, sind eine gute Alternative, wenn Zwingen nicht funktionieren. Klammern werden selten verwendet, da sie beim starken Straken das dem endgültigen Verleimen folgt, im Weg sind. Da der Kimmweger bei vielen Booten ein wichtiges Konstruktionselement ist, wird er normalerweise sorgfältig an Steven und Spiegel befestigt. Dies wird meistens mit Hilfe von Kerben am Steven angebunden, Stoßverbindungen sind jedoch ebenfalls akzeptabel, vorausgesetzt, die Klebefläche ist groß genug. In den Spiegel werden die Kimmweger immer eingelassen. Die Kerbe ist entweder dreieckig oder voll ausgenommen, aber der Kimmweger sollte den Spiegel nicht durchstoßen, wodurch das Hirnholz offengelegt würde. Der Kimmweger wird genauso geschmiegt, wie es im Kapitel 16 für den Kiel beschrieben wurde. An jeder Stelle, wo der Kimmweger einen Spant kreuzt, wird er auf beiden Seiten in Verlängerung der Spantaußenkanten eingesägt. Anschließend kerbt man ihn an diesen Stellen auf das wahre Maß ein, wie in Bild 22.5 zu sehen ist.

Bei den meisten Rümpfen ist es danach relativ einfach, den Kimmweger mit Hilfe der ausgeschnittenen Schmiegen auf der ganzen Länge zu schmiegen. Vorausgesetzt, der Kimmstringer verläuft in einer harmonischen Kurve auf dem Rumpf, kann man die Kanten selbst als eine Art Straklatte ansehen, mit der man beurteilen kann, ob der Verlauf der Schmiege zwischen den Spanten strakt. Als Unterstützung für das Auge kann man zwischendurch eine Latte mit Schraubzwingen direkt auf dem Kimmweger befestigen, so daß man alle hohen oder tiefen Stellen entdecken und markieren kann. Falls ungewöhnlich große Spantabstände vorherrschen, sollte man zu diesem Zeitpunkt besser sämtliche vorgesehenen Längsverbände einbauen. Sobald die Stringer eingebaut sind, kann man sie als nützliche Hilfen beim Straken der Kimmwegerschmiege verwenden. Zwei oder mehr Stringer, die beispielsweise zwischen Kiel und Kimmweger in den geraden Bereich der Spanten eingelassen sind, eignen sich hervorragend als Führung beim Entwikkein der tatsächlichen Flächen, auf denen die Sperrholzplatten später liegen. Dabei kann ein Richtscheit verwendet werden, mit dem man gerade Verlängerungen von den Stringern bis zu den Kimmwegern erhält, die sowohl die Position als auch den genauen Winkel der Schmiege an jedem Punkt zwischen den Spanten anzeigen. Die gleiche Technik kann man zum Schmiegen von Kiel und Balkweger einsetzen.

Die Stringer werden typischerweise parallel zum Balkweger in den erforderlichen Abständen über die Spanten gelegt, so daß sie am Kimmweger aus-

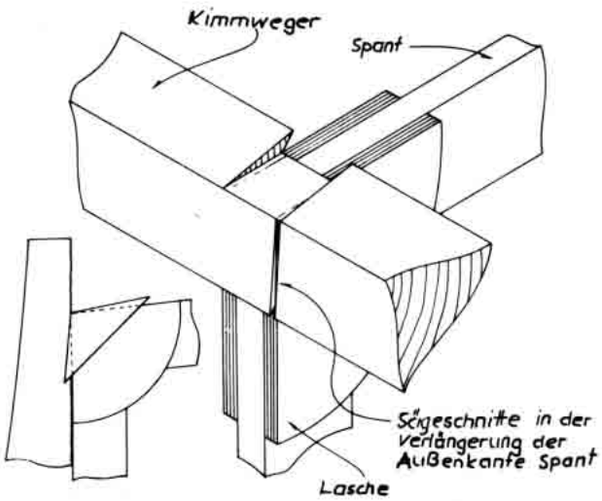


Bild 22.5 – Einkerben des Kimmwegers an den Spanten.

laufen und sich mit ihm schneiden. Das ist nicht immer notwendig, bei bestimmten Kimmkonstruktionen ist es sogar besser, die Stringer parallel zum Kimmweger laufen zu lassen, so daß sie am Balkweger (oder am Kiel) auslaufen. Wie bei Rundspantern kann man die Stringer auch so führen, daß sich ihr Abstand zueinander zu den Rumpfenden hin verringert.

Wenn das Rahmenwerk fertig ist, nimmt man einen Richtscheit und strakt die geraden Flächen zwischen Kimmweger und Kiel und zwischen Kimm- und Balkweger (bei einem Multiknickspanter natürlich auch zwischen den Kimmwegern). An keinem einzigen Punkt dürfen die Kanten der Querspanten auch nur ein bißchen höher sein, als die Längsverbände. Dies ist besonders wichtig, wenn man dünnes Sperrholz für die Außenhaut nimmt, da leicht erhöhte Spanten dazu neigen, einen leichten Querknick zu erzeugen, der später sichtbar ist. Zu niedrige Kanten können ebenfalls Verziehungen in der Rumpfoberfläche erzeugen.

Zur Bestimmung des allgemeinen Straks in beiden Richtungen, benutzt man eine Straklatte und ein Stück Sperrholz, das ungefähr 1,20 x 0,30 m groß ist. Das Sperrholzstück zeigt, wie die Platte später tatsächlich liegt, wenn sie auf den Rahmenflächen befestigt ist. Da man ebene Flächen strakt, sind lange Handhobel, wie eine Rauhbank, zum letzten Straken ganz handlich.

Mancher Linienriß fordert sphärisch gekrümmte Sperrholzplatten. Das erreicht man, indem man die Spanten zwischen den Plattenstößen mit einer leichten Bucht versieht, wodurch die Platten in der zweiten Richtung gekrümmt werden. Während diese sphärischen Krümmungen die Steifigkeit der Sperrholzplatten vergrößern, entstehen schnell Schwierigkeiten, wenn man bei spantengestützten Sperrholz-Knickspantkonstruktionen nicht sehr vorsichtig ist. Normalerweise wählt man die Knickspantbauweise aufgrund ihrer Einfachheit. Wenn man die Sperrholzplatten räumlich oder in zwei Richtungen krümmen möchte, können sich schnell unvorhersehbare Probleme entwickeln, die mit Leichtigkeit die erzielten Vorteile vernichten. Es gibt exzellente, einfache Bauweisen zur Herstellung von sphärisch gekrümmten Sperrholzrümpfen, die im Kapitel 23 beschrieben werden; diese Krümmungen werden aber nach einem besonderen Konzept entwickelt, bei dem sich die gekrümmte Sperrholzoberfläche nicht an eine vorgeformte Rahmenkontur anpassen muß. (Siehe auch die Diskussion über die Verwendung sphärisch gekrümmter Sperrholzplatten für Decks und Kajütdächer im Kapitel 25.)

Zupassen der Platten

Als erstes muß man entscheiden, wie groß die Platten sind, die man auf einmal anbringen kann. Das hängt im allgemeinen von der Bootsgröße ab. Bei kleineren Dinghies ist es üblich, komplett vorgeschäftete Platten über einen Bereich in einem Arbeitsgang zu verleimen. Bei größeren Booten ist es einfacher, kleinere Platten aufzubringen und die Schäftungen auf dem Rumpf durchzuführen, wie es im Kapitel 10 besprochen wurde.

Bei der Verwendung kürzerer Platten ergeben sich noch andere Vorzüge, wie zum Beispiel leichtere Handhabung und effizientere Materialnutzung, da kürzere Platten weniger Abfall produzieren und leichter anzuzeichnen und anzupassen sind, bevor man sie anbaut. Auf jeden Fall ist eine 4,90 m lange Platte die Maximallänge, die man auf einmal am Rumpf anbauen kann. Nach unserer Erfahrung muß der Vorgang richtig organisiert werden. Zum Anbringen und Säubern großer Platten braucht man mehrere gut eingespielte Kräfte. Das Hauptproblem ist die Zeit. Man braucht Zeit, um den Kleber an allen Stringern, Spanten, Kimmwegern, Kiel, Vorsteven etc. aufzutragen. Zum Ausrichten der Platte und Aufbringen von ausreichendem Anpressdruck mit Hilfe von Klammern benötigt man noch mehr Zeit. Und selbst nachdem man die Platte endgültig befestigt hat, braucht man noch Zeit, um den aus den Leimfugen gedrückten überflüssigen Kleber vor dem Aushärten zu entfernen.

Wenn man auf dem Rumpf schäftet, ist es normalerweise am günstigsten, die Verbindungsstellen auf Schotts, Spanten oder sonstigen festen Punkten anzuordnen. Hat man jedoch Sperrholz, das mindestens 10 mm dick ist, und große Längsstringer, kann man überall auch ohne eine total feste Unterstützung durch Schotts oder Spanten schäften. Dünneres Sperrholz kann man über in Plastikfolie eingepackten Laschen schäften, wenn kein Spant oder Schott in der Nähe ist.

Es gibt verschiedene Wege, die Platten zum groben Zuschneiden und genauen Fluchten der Schäftung anzuzeichnen. Die einfachste Methode ist, eine Sperrholzplatte mit Schraubzwingen in dem Bereich, die sie abdecken soll, provisorisch so zu fixieren, daß man am wenigsten Schwund hat. Dann zieht man mit dem Bleistift auf der Unterseite der Platte Linien entlang Kimmweger, Kiel oder Balkweger. Diese Platte scheidet man zurecht, überprüft den Sitz erneut und zeichnet Stringer- und Schäftungspositionen an. Um die Dinge später zu beschleunigen, heftet man die Platten an ihre Position und läßt die Nägel zum späteren Ausrich-

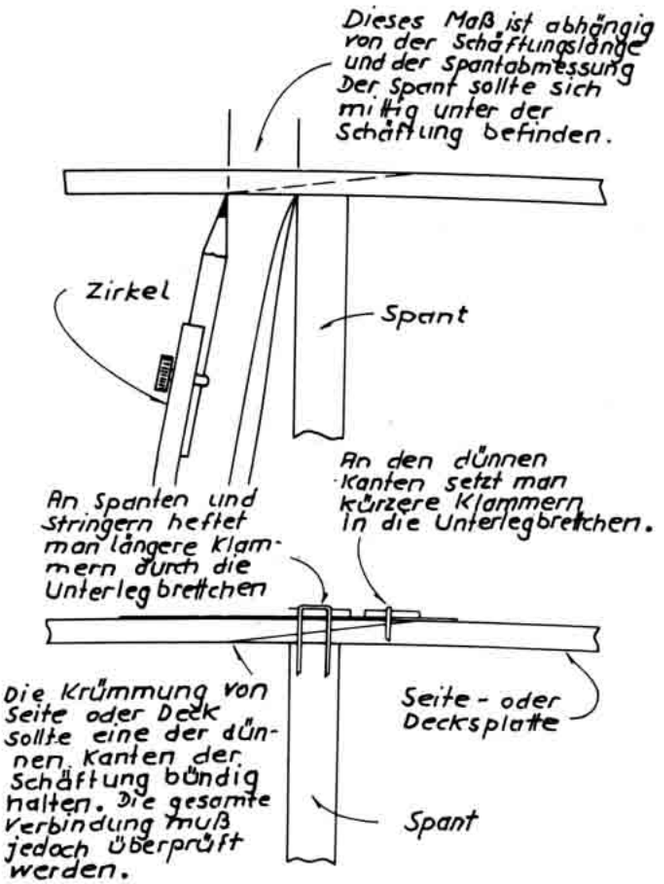

Dieses Maß ist abhängig von der Schäftungslänge und der Spantabmessung Der Spant sollte sich mittig unter der Schäftung befinden.
Zirkel
Spant
An den dünnen Kanten setzt man kürzere Klammern in die Unterlegbrettchen.
An Spanten und Stringern heftet man längere Klammern durch die Unterlegbrettchen
Die Krümmung von Seite oder Deck sollte eine der dünnen Kanten der Schäftung bündig halten. Die gesamte Verbindung muß jedoch überprüft werden.
Seite- oder Deckplatte
Spant

Bild 22.6 – Anzeichnen und Verleimen einer Sperrholzschäftung auf dem Rumpf.

ten in der Platte. Zum Erleichtern des Einbaus kennzeichnet man die Platte. (Siehe Bild 22.6)

.Schäftungen sollten auf den Spanten gleichmäßig zentriert sein. Um ihre Lage bestimmen zu können, legt man zunächst die Länge der Schäftungsschmiege fest. Diese sollte achtmal so lang sein, wie die Sperrholzdicke, also wäre die Verbindung bei 6 mm-Sperrholz 48 mm lang. Zum Anzeichnen einer 48 mm breiten Schäftung legt man sie mittig auf einen 20 mm-Spant, so daß die Kanten auf beiden Seiten 14 mm überstehen. Sobald die beiden Sperrholzplatten angezeichnet sind, sägt man sie an den Schäftungskanten ab und fertigt die 8:1-Schmiege an.

Wenn es ungünstig ist, die Platten selbst auf dem Rumpf anzupassen, nimmt man starkes Packpapier und überträgt die Umrisse der Platte schnell vom Rahmenwerk auf die Sperrholzplatte. Das Papier tackert man leicht an und zieht den Umriß der Fläche des Rahmenwerks nach, das von der Sperrholzplatte bedeckt werden soll. Man nimmt das Papier von der Helling und schneidet am markierten Umfang entlang. Dann überträgt man den Umriß vom Papier auf die Sperrholzplatte. Da diese Methode nicht so genau ist, läßt man beim Sägen einen etwas größeren Sicherheitsrand stehen. Diese grob besäumte Platte legt man dann auf den Rumpf und markiert die gen aue Position des Schäftungsbereichs und andere nützliche Positionen (zum Beispiel den Bereich eines Spalts, der mehr Kleber erfordert). Die Platten werden gekennzeichnet, damit sie leicht und genau zum Kleben wieder aufgelegt werden können.

Es ist anscheinend unerheblich, ob man die Boden- oder die Seitenplanken zuerst am Rumpf befestigt. Die bestimmenden Faktoren sollten die Einfachheit beim Anbringen und Säubern des überflüssigen Klebers sein. Wir bevorzugen es normalerweise, die Bodenplatten (beim umgedrehten Rumpf oben) zuerst anzubringen, weil wir dann zwischen die Spanten steigen können, um dichter an den Kielbereich zu kommen. Wenn die Platten fertig zugepaßt und zum Einbau bereit sind, beschichten und schleifen wir die Innenseiten immer, bevor wir sie befestigen. Damit spart man Zeit beim späteren Endbehandeln der Innenseiten. Eine Alternative zur Beschichtung der einzelnen zugeschnittenen Platten ist, die kompletten Platten vor dem Zuschneiden zu beschichten. Obwohl man bei dieser Methode etwas mehr Verluste hat, kann man damit Zeit sparen.

Markieren der Platten zum Klammern

Wenn man die Platten mit dem allgemeinen Rahmenwerk verleimt, muß man wissen, wo sich alle Stringer, Spanten und Kimmweger befinden, damit die Platten schnell und exakt an das Rahmenwerk geklammert werden können. Hierzu markiert man die Lage dieser Elemente auf der Außenseite der Platten, so daß man entlang dieser Linien mit großer Genauigkeit klammern kann. Einer der Vorteile, wenn man Stringeer parallel zur Seite Deck oder zu einem Kimmweger laufen läßt, ist, daß man sich nun eine Markierungslehre bauen kann, mit der man Lage der Stringer schnell auf die Sperrholzplatte übertragen kann, nachdem man sie angebracht hat. (Siehe Bild 22.7)

Bei einer anderen Methode zeichnet man die Stringerlage auf der Rückseite einer, vorzugsweise vorbeschichteten Platte an. Dann überträgt man diese Markierung auf die Vorderseite, indem man die Abstände zur Kante jeweils punktweise aufmißt oder indem man kleine Löcher bohrt und diese auf der Außenseite der Platte verbindet. Gleich, welche Methode man wählt, man muß genau vorgehen. Obwohl danebengeschossene Klammern entfernt

und repariert werden können, erfordert das Zeit. Viele danebengegangene Klammern können wesentlich mehr Arbeit machen, als der geringe Aufwand, der zum exakten Markieren der Stringer- und Spantenpositionen notwendig ist.

Aufbringen der Platten

Zum Verleimen der Platten auf dem Rahmenwerk nimmt man eine Klebermischung von hoher Dichte mit einer etwas dickeren Konsistenz als Sirup. Falls man Spalte überbrücken muß, dickt man den Kleber noch etwas an, so daß er die Konsistenz von Erdnußbutter hat. Die vorbehandelten Flächen wischt man ab, um Staub und Schmutz zu entfernen und dann trägt man den Kleber auf alle Klebeflächen auf. Falls die Platten noch nicht beschichtet sind, rollt man Standardharz auf alle unbehandelten Flächen, bevor der angedickte Kleber aufgetragen wird. Man nimmt genügend Klebstoff, so daß etwas davon aus den Leimstellen gedrückt wird. Das zeigt eine 100%ige Verbindung an.

Meistens benötigt man mindestens zwei Mann, um eine Platte zu hantieren. Man sollte versuchen, sie nicht über das Rahmengestell zu ziehen und dabei das Epoxidharz überall hinzuschmieren. Wenn man die Platte zum Anpassen angeheftet hatte und die Nägel davon noch in der Platte sind, bringt man sie mit ihren Löchern in Deckung und setzt sie wieder ein. Hat man die Nägel nicht als Führung, bringt man die Kennzeichen in Deckung und setzt ein paar Klammern an zentralen Punkten ein, um die Platte auf genauen Sitz prüfen zu können.

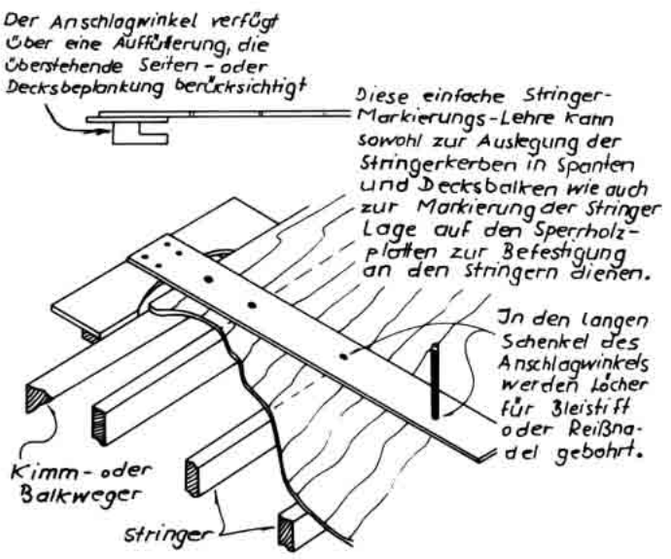

Der Anschlagwinkel verfügt über eine Auffüllerung, die überstehende Seiten- oder Decksbeplankung berücksichtigt
Diese einfache Stringer-Markierungs-Lehre kann sowohl zur Auslegung der Stringerkerben in Spanten und Decksbalken wie auch zur Markierung der Stringer Lage auf den Sperrholzplatten zur Befestigung an den Stringern dienen.
In den langen Schenkel des Anschlagwinkels werden Löcher für Bleistift oder Reißnadel gebohrt.
Kimm- oder Balkweger
Stringer

Bild 22.7 – Lehre zum Anzeichnen der Stringerpositionen auf Decks- oder Seitenplatten.

Bei Sperrholzplatten bevorzugen wir lange schmalschultrige Klammern, die im Rumpf bleiben können. Diese schmalschultrigen Klammern hinterlassen nur geringe Beschädigungen und ihre Löcher sind, wenn sie etwas versenkt worden sind, einfach zu spachteln, um eine strakende, glatte Oberfläche zu erhalten, die leicht zu lackieren ist. Klammern, die in den Kimmwegern gelassen werden, können Probleme machen, wenn diese Bereiche abgerundet werden sollen. Also verwendet man hier Klammern mit breiten Rücken, die man vor dem Beiarbeiten entfernt. Im Kiel- und Vorstevenbereich von manchen Bootstypen kann es ebenfalls zu Schwierigkeiten kommen.

Normalerweise sind Klammern angemessen, die dreimal so lang sind, wie die Plankungsdicke, wenn das Sperrholz über mäßige Krümmungen gebogen wird. In stärker gekrümmten Bereichen, wo die Klammern die Platten nicht halten, nimmt man Schrauben mit Unterlegscheiben oder passenden Brettchen zum Aufbringen und Verteilen des provisorischen Anpressdrucks, bis das Harz ausgehärtet ist. Man kann auch Nägel mit Sperrholzbrettchen verwenden, aber wir finden, daß legierte Bootsnägel, die im Boot gelassen werden, keine gute Lösung sind. Die Hauptschwierigkeit von Bootsnägeln ist, daß ihre Köpfe meistens sichtbar bleiben und sich auf diese Weise nachteilig auf ein gutes Finish auswirken.

Nachdem man eine Planke richtig befestigt hat, müssen die Klebstoffreste, die aus den Klebefugen quetschen, sofort entfernt werden. (Siehe Kapitel 21 zwecks genauerer Besprechung des Säuberungsvorgangs.) Die Befestigung der zweiten Platte macht größere Schwierigkeiten aufgrund des zusätzlichen Verleimungsvorgangs von mindestens einer zusätzlichen Schäftung, während die Platte gleichzeitig insgesamt befestigt wird. Die Schäftung auf der zweiten Platte sollte geschnitten und und vorher angepaßt worden sein. (Man sollte daran denken, daß bei vorbeschichteten Platten die Schäftung bei der zweiten Platte auf der gegenüberliegenden Seite der ersten Platte geschnitten werden muß.) Bei der zweiten Platte lohnt sich ein Trockenlauf, um zu prüfen, ob die Kennzeichen und die Ausrichtung noch stimmen. Alle Abweichungen registriert man und ändert die Kennzeichen, so daß die Platte nachher wieder perfekt liegt. Gegenüber der Ausrichtung der Schäftung soll man sehr kritisch sein, damit sich später keine Verwerfungen bilden, die eine unebene Außenhaut hervorrufen. Da das Schäften vor Ort immer etwas schwieriger ist, als

bei einer kontrollierbareren Situation, sorgen wir für zusätzliche Sicherheit, indem wir den Kleber dicker als normal auf die beiden geschmiegten Oberflächen der Platten auftragen.

Mit besonderer Aufmerksamkeit drückt man die Schäftung an. Man klammert durch einen plastikumwickelten Sperrholzstreifen, der etwas breiter als die Schäftung ist, um den Druck gleichmäßig zu verteilen. Klammern, Nägel oder Schrauben werden zum Aufbringen des optimalen Anpreßdrucks durch die Verbindung auf ein darunter befindliches festes Element verwendet. Um die äußeren Kanten besser zusammenzudrücken, nimmt man kürzere Klammern, die nicht durch das Sperrholz dringen. Die inneren Kanten benötigen relativ wenig Druck, weil die Krümmung der Platte sie normalerweise schon andrückt. Wenn sie nicht dicht anliegen, entfernt man überflüssiges Harz und bringt sie mit einem Sperrholzstreifen und kürzeren Klammern zusammen, wie auf der Außenseite. (Siehe Bild 22.6.)

Falls man 10 mm oder dickeres Sperrholz verwendet, kann man die Schäftung überall vor Ort auf dem Rumpf anordnen, ohne sich Gedanken über die Lage eines festen Konstruktionselements machen zu müssen. In Situationen, wo sich herausstellt, daß die Platte ein paar Zentimeter vor einem Spant auskommt und daß man sie um eine zu große

Bild 22.8 – Auftragen der Klebermischung vor dem Verleimen einer Platte mit dem Rahmenwerk. Die im Vordergrund liegende Platte wird auf dem Rumpf geschäftet.

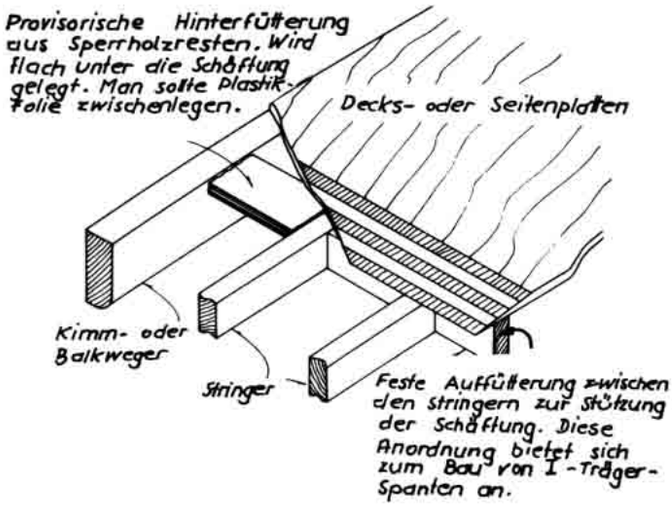

Provisorische Hinterfütterung aus Sperrholzresten. Wird flach unter die Schäftung gelegt. Man sollte Plastikfolie zwischenlegen.
Decks- oder Seitenplatten
Kimm- oder Balkweger
Stringer
Feste Auffütterung zwischen den Stringern zur Stützung der Schäftung. Diese Anordnung bietet sich zum Bau von I-Träger-Spanten an.

Bild 22.9 – Unterfütterung bei Schäftungen auf dem Rumpf.

Materialmenge kürzen müßte, damit sie auf dem vorausgehenden Spant endet, spart man durch die Möglichkeit, überall zu schäften, eine Menge Material. Das Anzeichnen vereinfacht sich, da die Schäftung nicht auf einem bestimmten Element zentriert werden muß. Trotzdem sollte man sich versichern, daß genügend Längsverbände zwischen den beiden Platten sind, um sie gut fluchtend schäften zu können.

Bild 22.9 veranschaulicht zwei Methoden, zwischen Spanten zu schäften. Die erste, bei dünnem Sperrholz, verwendet eingepasste und -geklebte Unterfütterungen zwischen den Stringern, mittig unter der Schäftung. Bei der zweiten Methode verwendet man provisorische Unterfütterungen. Dafür nimmt man Sperrholz, das dick genug ist, Klammern aufzunehmen. Das schneidet man auf die ungefähre Breite der Verbindung und längt es so ab, daß es zwischen die Stringer paßt. Jemand im Boot hält die Stücke dann unter die Schäftung, während ein anderer von oben klammert.

Die einzige Schwierigkeit dieser Methode besteht darin, die Auffütterungen so stark gegenzuhalten, daß sie die Klammern aufnehmen, aber die Schäftung dabei nicht hochzupressen, wodurch die Schäftung uneben würde. Bei dickerem Sperrholz ist das nicht so problematisch wie bei dünnerem Material. Das Problem läßt sich dadurch verringern, daß man die Platten zunächst an Stringern, Kimmwegern, Kiel oder anderen festen Bereichen anklammert und danach erst den Druck auf die provisorischen Laschen bringt. Ein Vorteil von festen Auffütterungen ist, daß diese Teile als Stege dienen können, über die man Spanten in der fertigen Rumpfschale

lamellieren kann. In diesem Fall wird das Spantmaterial mit der inneren Oberfläche der Füllstücke verleimt. Insgesamt ergibt das ein steifes I-Träger-artiges Spantsystem, wie es schon im Kapitel 21 besprochen wurde.

Wenn man alle Platten eines Abschnitts befestigt hat und der Kleber ausgehärtet ist, kann man die provisorischen Klammern entfernen. Wir entfernen immer alle Klammern aus den Schäftungen und normalerweise auch aus Kiel und Kimmwegern, weil in diesen Bereichen oft noch viel beigearbeitet werden soll. Im nächsten Schritt hobelt man das überstehende Sperrholz bündig zu den anliegenden Kimmwegerschmiegen, so daß man die nächste Platte auf der anderen Seite des Kimmwegers anpassen und befestigen kann, damit gleichzeitig das Sperrholz überlappt.

Komposit-Kimmweger-Konstruktionen

Viele kleinere und manche größeren Boote werden ohne irgendein Kimmwegerholz gebaut. An dessen Stelle werden die Sperrholzplatten mit Komposit-Kimmwegern verbunden, die aus Glasfasergewebe oder -streifen, wie aus Bild 22.10 ersichtlich, gebaut werden. Meistens, insbesondere bei dünnem Sperrholz, ist eine solche Glasfaser-Verbindung zwischen den beiden Platten, die genauso fest ist, wie das Sperrholz, einfach herzustellen. Ein solches System ist zur Verhinderung von Rißbildung brauchbar, die an scharfen Knicken aufgrund von Problemen, die mit Feuchtigkeit und hohen Spannungskonzentrationen zu tun haben, auftritt. Zwycks Anleitungen für solche Verfahren weisen wir auf die Diskussion über Komposit-Kiele im Kapitel 23 hin.

Das Problem bei dieser Verbindungsart liegt beim Fixieren der Platten in ihrer endgültigen Lage, damit man die Verbindung herstellen kann. Mallspanten sind bei Sperrholzplattenbauweisen oft nicht notwendig, da das Rahmenwerk des Bootes als Form dient; für Komposit-Kimmweger ist jedoch eine Vorrichtung oder eine Basis erforderlich. Die Vorrichtung kann positiv oder negativ sein, vielleicht ähnlich wie die in Bild 22.11 gezeigte Version. Bei beiden Arten sollte man die Platten mit Klammern provisorisch befestigen können. Nachdem das Sperrholz angeklammert wurde, trimmt man die Kanten, so daß sie gut passen und verbindet sie mit mindestens einer Lage Glasfaserstreifen. Wenn dies ausgehärtet ist, nimmt man den Rumpf von der Form und trägt eine weitere Lage auf der anderen Seite auf, um die Verbindung fertigzustellen.

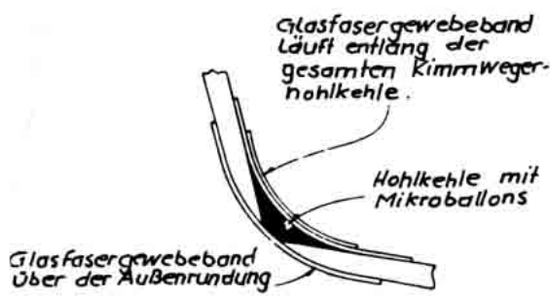


Bild 22.10 – Kimmwegerkonstruktion mit Glasfaserstreifen über leichter Hohlkehlnaht.

Die Negativform hat einen Vorteil gegenüber der Positivform, da die Innenseite der Verbindung zuerst mit Glasfasern beschichtet wird. Wenn man die Rumpfschale von der Form nimmt, kann man die Außenseite der Verbindungen noch in dem gewünschten Maß abrunden, bevor die Glasfaserstreifen hier aufgetragen werden. Komposit-Kimmweger-Konstruktionen können auch über einem konventionellen Rahmenwerk gebaut werden. Sperrholzplatten können zusammen mit einem Spanten/Stringer-Gerüst zum Bau von starken, seegängigen Booten eingesetzt werden, wobei sie durch die vereinfachte Kimmwegerkonstruktion einfacher zu bauen sind.

Es gibt unendlich viele Versionen, eine angemessen feste Komposit-Verbindung herzustellen. Wir bauen normalerweise zuerst ein Probestück einer solchen Verbindung, die wir verwenden wollen und führen dann einige simple Bruchversuche durch. Unser Standardmaß ist, daß alle Brüche im Sperrholz auftreten und nicht in der Verbindung selbst.

Letztes Straken

Das abschließende Straken ist der leichteste Teil der Sperrholz-Knickspant-Bauweise. Wenn man mit einem gut strakenden Rahmenwerk angefangen hat, sollten die Sperrholzplatten diesem präzise gefolgt sein und eine glatte, ebene Oberfläche bilden. Die meiste Strakarbeit wird sich auf die Bereiche um Knicke, Schäftungen und Kiel konzentrieren, wo die Platten miteinander verbunden worden sind. Beim Straken von verworfenen Schäftungen sollte man so wenig wie möglich Holz entfernen und hohle Stellen mit einer leichten Harzmischung auffüllen. Wenn die Verbindung wichtig ist, müssen die geschwächten Bereiche an der Innenseite verstärkt werden. Bevor man irgendwelche Verbindungen an Kiel oder Kimmwegern abrundet, sollte man die Sperrholzkanten beiputzen. Zum Schärfen der Kanten nimmt man Handhobel und Schleifklötze

mit Schleifpapier mit 50er Körnung und betrachtet sie dann in Bezug auf den allgemeinen Strak. Wenn eine Kante flache Stellen oder unnatürliche Kurven hat, muß man korrigieren, bis es strakt. Hat man eine strakende Kante entlang des gesamten Knicks oder Kiels entwickelt, kann man ihn mit der Sicherheit abrunden, daß die gesamte Kiel- oder Kimmoberfläche weiter gleichmäßig aussieht, wenn sie rund ist.

Die einzige Beschränkung, bezogen auf das Ausmaß der Rundungen von Kiel oder Kimm, sind die eigentlichen konstruktiven Grenzen der Verbindungen. Es hat Fälle gegeben, wo ein gut konstruierter Verband gebrochen ist, weil mehr Material als geplant abgetragen wurde und die Verbindung daher zu schwach hinterlassen worden ist. Falls man irgendwelche Zweifel an einer speziellen Verbindung hat, schlagen wir vor, sich ein Probestück genauso zu bauen, wie die Verbindung aussehen soll und dies dann einfachen Bruchversuchen auszusetzen. Dabei muß die Verbindung mit Sicherheit fester als die Platten sein. Normalerweise bauen wir ein Probestück unserer angestrebten Verbindung, das ca. 200 mm lang ist, und setzen es allen möglichen Belastungen aus, die uns einfallen. Falls diese Lasten den Probekörper im Bereich der Verbindung zerstören, bauen wir ein weiteres Probestück mit vergrößertem Verbindungsbereich oder einem anderen Konstruktionskonzept, bis es fester als die Platte ist und alle zukünftigen Brüche im Sperrholz und nicht in der Verbindung auftreten.

Genauso, wie wir eine Stevenkappe bei den meisten Rümpfen einsetzen, ist es möglich, bei der Knickspant-Bauweise Kimm-und Kielkappen zur Vollendung bestimmter Verbindungsarten zu verwenden. (Siehe Bild 22.4.) Der Vorgang ist der gleiche, wie bei einer Stevenkappe. Man hobelt eine ebene Schmiege auf der Kimm-oder Kielverbindung, auf die man ein einzelnes oder mehrere Stücke Schnittholz leimen möchte. Zum Aufbrin-

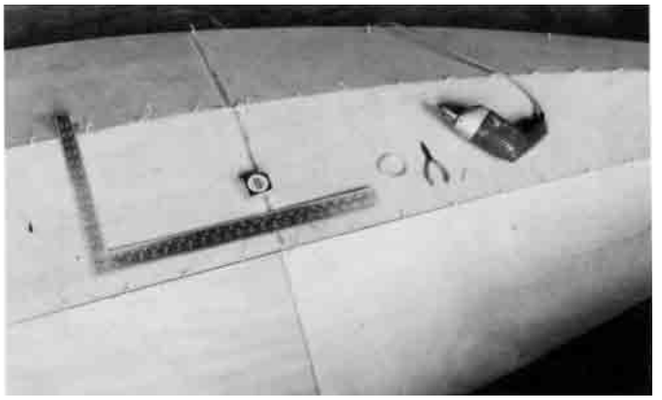


Bild 22.13 – Provisorisch mit Draht gehaltene Verbindungen eines Fireball-Dinghies. Glasfaserstreüen werden auf die innenseiten dieser Verbindungen gelegt und die Drähte entfernt. Danach werden Glasfaserstreüen oder -gewebe an der Außenseite der Verbindungen aufgebracht. (Mark Lindsay)

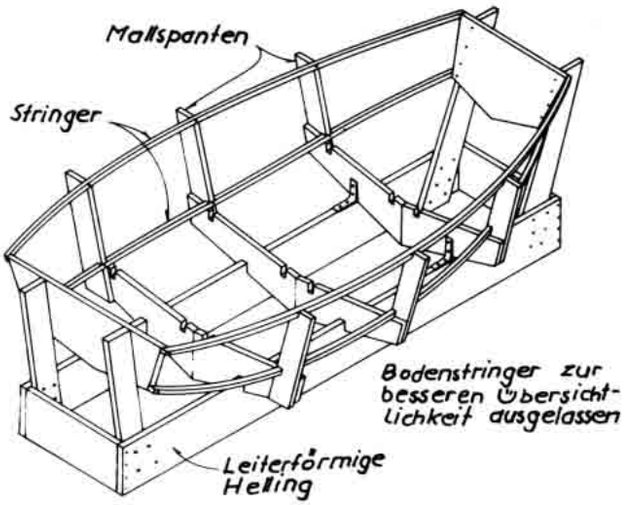


Bild 22.11 – Negativ-Form, die man zur Herstellung großer Stückzahlen eines Sperrholz-Komposit-Beibootes verwenden könnte.

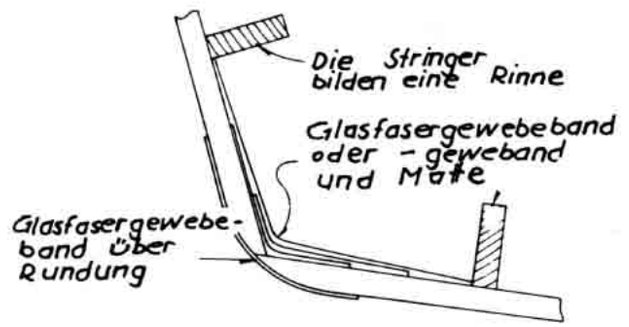


Bild 22.12 – Glasfaserstreüen-Naht eines Sea-Runners™.

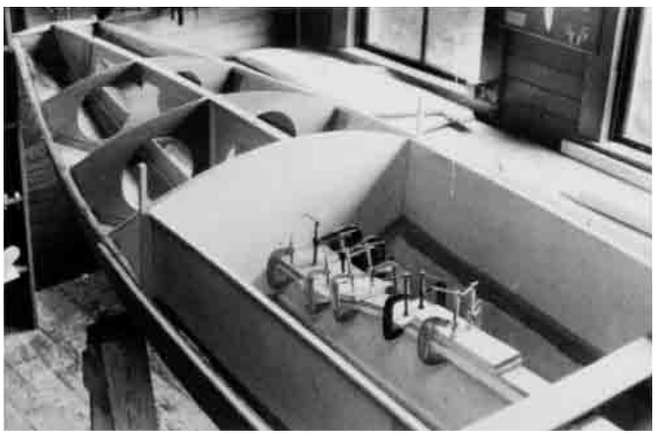


Bild 22.14 – Blick ins Innere der in Bild 22.13 gezeigten Dinghies. Man beachte die Glasfaserstreüen als Verbindung an den Knicken, die im Vorschiff sichtbar sind.

gen des provisorischen Drucks benutzen wir meistens Stahlschrauben, die, nachdem der Klebstoff ausgehärtet ist, entfernt werden, damit sie nicht beim Bearbeiten im Weg sind.

Beim Schlichten von Douglas-Fir-Sperrholz kann es Probleme geben. Wie schon früher erklärt, können geschlichtete Douglasien-Sperrholzplatten sehr uneben werden. Das weichere Sommerholz schleift sich leichter als das Winterholz, so daß ein Waschbretteffekt auftritt, der sich durch weiteres Schleifen lediglich verschlimmert. Die einzigen Lösungen sind, so wenig wie möglich zu schleifen und scharfe Hobel zum Straken zu verwenden. Wir schlagen vor, daß alle Außenflächen aus Douglasie mit Glasfasergewebe und Epoxidharz beschichtet werden.

Kapitel 23

Bau und Entwurf von Rümpfen aus verformten Sperrholzplatten

In unseren frühen Jahren als Bootsbauer waren wir besonders von dem Konzept der indianischen Birkenrinden-Kanus fasziniert. Das waren Fahrzeuge, die eine schöne Form hatten und leicht und stark waren. Das beste war, daß sie aus Plattenmaterial gebaut waren. Die Indianischen Birkenrinden-Kanus wurden in einer Art gebaut, die umgekehrt zu den normalen Bootsbauweisen war: zuerst wurde die Außenhaut geformt und dann erst das tragende Rahmenwerk eingepaßt. Zunächst wurde die Birkenrinde vorsichtig vom Stamm geschält und grob zu einem Kanu geformt. Danach wurde ein tragendes Rahmenwerk zur Stützung der flexiblen Birkenrinden-Außenhaut und zur eindeutigeren Definition der Rumpfform installiert. Amerikanische Indianer entwarfen, konstruierten und bauten diese Birkenrinden-Kanus, die das bevorzugte Transportmittel der ersten französischen Entdecker über einen Zeitraum von über 200 Jahren darstellten.

1963 verwendeten wir eine vergleichbare Methode zum Abwickeln der Außenhaut, aber mit Sperrholz anstelle von Birkenrinde, um einen Trimaran zu bauen. Entsprechend der traditionellen Techniken falteten wir einen Rumpf zusammen und bauten danach das Rahmenwerk ein, um den Rumpf zu versteifen, die Rumpfform genauer festzulegen und um Spitzenlasten über die Außenhaut zu verteilen. Wir haben nun seit 20 Jahren Boote auf diese Art gebaut und diese Technik inzwischen bis zu einem Punkt verfeinert, zu dem die Sperrholz-Verformungs-Bauweise für einen beschränkten Bereich von Bootstypen und -formen als praktisch erscheint.

Mit dieser Bootsbauweise ist es möglich, starke, leichte Rümpfe herzustellen. Wir benutzen sie überwiegend zum Bau von Katamaranen und Trimaranen. Sie ist aber auch für kleine Segelboote, wie die internationale Moth Dinghy Klasse, gut geeignet, und gehört wohl zu den besten Bauweisen zum Bau von Rennkanus und Rennruderbooten. Schnürbodenarbeit, Helling und lamellieren sind nicht notwendig, so daß ein Boot in relativ wenigen Arbeitsstunden gebaut werden kann. Ein Nachteil der Sperrholz-Verformungs-Bauweise ist, daß sie auf Formen beschränkt ist, die sich leicht entwikkeln lassen, indem Sperrholzplatten in zwei Richtungen gebogen werden. Daß manchmal der nachträgliche Einbau eines Rahmenwerks in einen vorgeformten Rumpf schwierig ist, ist ein weiterer Nachteil. Trotz dieser Nachteile kann diese Me-

Bild 23.1 – Extrem leichter K1asse-C-Trimaran VICTOR T. 1968 von Meade Gougeon entworfen und gebaut.

thode so erfolgreich sein, daß wir eine Erörterung der Grundprinzipien für sinnvoll halten.

Möglicherweise sind Bootspläne und Entwurfskriterien für die Sperrholz-Verformungs-Bauweise schwer erhältlich. Daher umfaßt dieses Kapitel einen Überblick über die verschiedenen Entwurfsparameter, die wir zur Entwicklung der Rumpfformen verwenden sowie Anleitungen zum Entwerfen und Bauen von Modellen. Falls man fertige Pläne gekauft hat, beginnt man mit den besonderen Bautechniken, die am Anfang dieses Kapitels beschrieben sind. Wenn man aber seinen eigenen geformten Sperrholzrumpf entwickeln möchte, sollte man auch die Abschnitte über den Entwurf durchlesen. In jedem Fall sollte der erste Schritt jedes Projekts das Testen von selbstgebauten Probestücken sein. Man sollte mit Kielverbindungen experimentieren und sicherstellen, daß sich das gekaufte Sperrholz über die stärksten Krümmungen biegen läßt.

Verformen von Sperrholz

Zum *Verformen* von Sperrholzplatten biegt man sie gleichzeitig in zwei Richtungen. Jedes Sperrholz kann verformt werden. Wie wir später erläutern werden, ist der mögliche Verformungsgrad einer gegebenen Sperrholzplatte noch nicht sicher ermittelt. Die „Verformbarkeit“ einer Platte wird durch ihre Dicke, die Anzahl der verwendeten Schichten und die Holzsorte bestimmt. Die Sperrholzdicke ist ein einschränkender Faktor für die Größe der Boote, die mit der Sperrholz-Verformungs-Technik gebaut werden können. Wir haben bis zu 7 mm starke, 5-lagige Sperrholzplatten verwendet und normalerweise das dickste Sperrholz gewählt, das sich für die gegebene Form eignete.

Verschiedene Hölzer derselben Dicke weisen unterschiedliche Biegeverhalten auf. Obwohl verschiedene Holzsorten bei der Sperrholz-Verformungs-Bauweise verwendet werden können, wählen wir überwiegend das beste Okoume-Marinesperrholz oder Birken-Flugzeugsperrholz. Jede Sorte hat ihre eigenen Vor- und Nachteile; was man bei diesen Dingen jedoch am meisten berücksichtigen muß; ist, daß Fehlstellen und Spalte in der Verleimung zum Bruch beim Verformen führen können. Daher sollten nur qualitativ hochwertige Platten verwendet werden.

Der Bau

Zu Beginn des Baus eines geformten Rumpfes -stellt man zwei identische, flache Platten her. Jede von ihnen sollte etwas größer als eine Hälfte der Außenhaut sein, so daß meistens zwei oder mehr 2,44 x 1,22 m große Sperrholzplatten mit Schäftungen zu einem Stück verbunden werden müssen. Manchmal konnten wir beide Planken aus einer einzigen Platte zuschneiden, indem ihre Enden umgedreht wurden.

Eine Vorbehandlung mit WEST SYSTEM Markenepoxidharz erhöht die Steifigkeit der Platten und beeinflußt so deren Verformbarkeit. Wir beschichten nur Bereiche wie die Innenseiten im Bugbereich, die nach der Montage nur schwer zugänglich sind, und diese auch nur, wenn geringe Verformungen von den Platten verlangt werden. Verschiedene unserer STRESFORM-Entwürfe erfordern eine Glasfaserbeschichtung an der Außenseite der Platten, bevor sie verformt werden. Wie wir später in diesem Kapitel erörtern werden, erhöht eine solche Beschichtung mit Glasfasergewebe die Steifigkeit einer Platte enorm. Sollten Sie sich entscheiden, diese Abwandlung der Sperrholz-Verformungs-Bauweise anzuwenden, machen sie sich zunächst ein Modell und Testplatten, damit Sie sicher sind, daß die stärkste Biegung des Rumpfes mitgemacht werden kann.

Die Form eines verformten Rumpfes wird hauptsächlich von seinem *Kielsprung,* seiner *Aufkimmung* (den Kielwinkeln in der Querrichtung) und der *Seite-Deck-Linie* bestimmt, die alle genauer im Abschnitt über den Entwurf in diesem Kapitel erläutert werden. Das Maß an Kielsprung, das am Boden der Platten, wo sie zum Kiel verbunden werden, geschnitten wird, und die Aufkimmungen sind die Hauptfaktoren bei der Formgebung des Rumpfes. Der Kiellinien-Schnitt ergibt sowohl den Kielsprung, als auch das Verformungspotential, während die Aufkimmung vornehmlich die Rumpfvölligkeit beschreibt.

Um die Auswirkungen dieser verschiedenen Linien, Winkeln und Kurven verstehen zu können, stellt man sich vor, was mit den zwei Platten passiert, die zwei vollkommen gerade Kanten haben und miteinander verbunden werden. Das Ergebnis wäre ein zylindrischer Körper, ohne sphärische Krümmung. Falls die Kanten der beiden Platten jedoch nicht gerade wären und in unbeweglichen Verbindungen in vorbestimmten Winkeln zusammengehalten würden, müßten sie sich bei der Annäherung ihrer Kanten räumlich verformen.

Die richtige Auslegung des Kiels ist von größter Bedeutung. Die Kiel-Linie darf keine Buckel oder Beulen haben, da sie sich auf dem Rumpf nach dem Faltvorgang vergrößern. Beide Platten müssen exakt die gleiche Größe haben. Damit sie das mit Sicherheit haben, werden sie zusammengeklammert

Bild 23.2 – Sperrholz-Rumpfplatten für einen Tornado Katamaran. Diese Platten wurden aus 5 mm-Okoume-Sperrholz zugeschnitten.

oder -genagelt und auf eine ebene Fläche gelegt. Eine Rumpfseite wird auf der oberen Platte angezeichnet, dann werden beide Platten gleichzeitig zugeschnitten. Eine alternative Methode ist, zunächst eine Platte anzuzeichnen und auszuschneiden, und diese dann als Schablone zum Anzeichnen der anderen zu verwenden.

Auf der Innenseite beider Platten zieht man eine Linie im Abstand von 50 mm entlang der Mittellinie der Kielverbindung. Diese Linien sollen als Orientierung für den exakten Verlauf der Mittellinie des Kiels dienen, wenn die genaue Mittellinie des Kiels unter dem Kompositkiel verschwunden ist. Diese Linien helfen außerdem dabei, die Kielfüllung gleichmäßig aufzutragen.

Beim nächsten Schritt trennt man bei den meisten Booten zunächst die Platten und installiert jeweils die Balkweger. Der Balkweger, der bei manchen Booten ein Einbauelement ist, bei anderen wiederum außen montiert wird, bringt Steifigkeit in den oberen Teil der Sperrholzplatten. Dies ist auch der einzige Zeitpunkt während der Bauphase, bei dem man sie günstig einbauen kann. Die Abmessungen des Balkwegers sind normalerweise eine Funktion der Sperrholzdicke: Im allgemeinen verwenden wir Balkweger, die vier- bis sechsmal so stark sind wie die Sperrholzplattendicke, um ausreichende Klebefläche für die Verleimung vom Deck auf den Rumpf zu erhalten. Die Seite-Deck-Linie bestimmt die Lage der Balkweger. Normalerweise lassen wir unsere Balkweger leicht über der Sperrholzkante stehen, so daß genügend Zugabe vorhanden ist, wenn die Kante beigehobelt werden muß.

Auf jede Platte leimt man einen Balkweger und heftet ihn provisorisch mit Klammern an seinen Platz. Da zu viele Klammern die Steifigkeit des Stücks vergrößern würden, nimmt man Schraubzwingen, wenn zusätzlicher Anpressdruck erforderlich ist. Noch während das Epoxid flüssig ist, biegt man die Platten in einer langen, längsgerichteten Kurve, wobei der Balkweger zum Krümmungsmittelpunkt zeigt, selbst, wenn er eigentlich auf der Außenseite der Platte angebracht ist. Dies bewirkt so etwas wie eine lamellierte Biegung zwischen den bei den verleimten Holzteilen und unterstützt die Entwicklung der dreidimensionalen Verformung, indem das Sperrholz entlang der Seite Deck komprimiert wird. Wenn der Kleber ausgehärtet ist, schrägt man die Balkweger ab, so daß sie am Bug perfekt zusammenpassen. Falls der Rumpf ein Spitzgatter ist, also an beiden Enden spitz zuläuft, werden die Balkweger auch am Heck angeschrägt, wie in Bild 23.14 gezeigt.

Danach werden die Sperrholzplatten entlang der Kiel- und Vorstevenkanten abgerundet und angeschrägt. Es ist nämlich fast unmöglich, zwei scharfe Kanten exakt zusammenzupassen. Sie lassen sich nicht gleichmäßig ausrichten, wenn ihre Kanten scharf bleiben. Indem man die Kanten abrundet, vergrößert man die Oberfläche und erleichtert das Ausrichten der genauen Mittellinie. Bevor man damit anfängt, muß man sich entscheiden, wie man die Platten provisorisch zusammenhalten möchte, bis die dauerhafte Kielverbindung hergestellt werden kann. Die hierfür ausgewählte Technik bestimmt, ob man die innere oder die äußere Plattenkante an schrägen muß.

Wir haben zwei zuverlässige provisorische Befestigungssysteme angewandt, die beide als Scharniere funktionieren. Entweder fädelt man Draht durch Löcher entlang der Kiellinie, oder man klebt 50 mm breites Nylon-Gurtband auf die Außenseite der Platte, entlang der Verbindung. Welches System man auch verwendet, die Platten müssen erst mit Schraubzwingen, Klammern oder Nägeln fixiert werden, damit sie sich nicht verschieben, während man sie verbindet. Doppelseitiges Teppichboden-Klebeband hält die Teile gut zusammen und wird zu

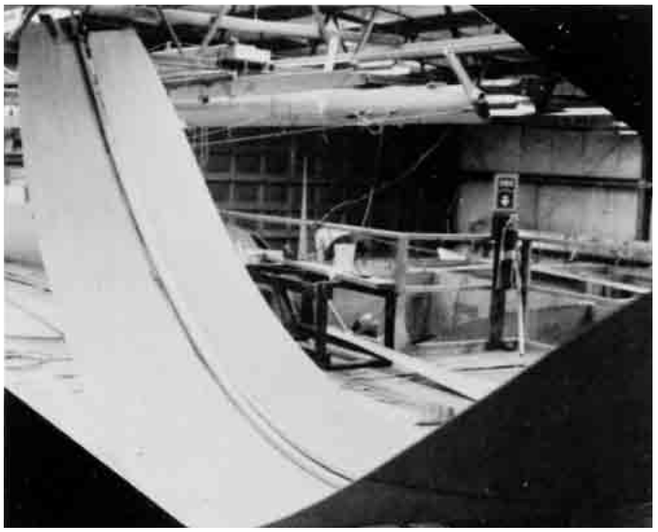


Bild 23.3 – Sperrholzplatten und Balkweger, in einem großen Radius verleimt, um die Völligkeit im oberen Seite-Deck-Bereich des fertigen Rumpfes zu unterstützen.

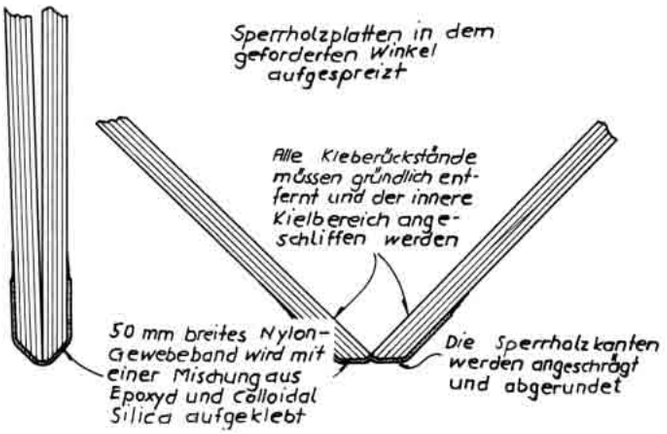

Sperrholzplatten in dem geforderten Winkel aufgespreizt
Alle Kleberückstände müssen gründlich entfernt und der innere Kielbereich angeschliffen werden
50 mm breites Nylon-Gewebeband wird mit einer Mischung aus Epoxyd und Colloidal Silica aufgeklebt
Die Sperrholzkanten werden angeschrägt und abgerundet

Bild 23.4 – Verbindung von Sperrholzplatten mit Nylon-Gewebeband.

einem wichtigen Element des Nylon-Gewebeband-Systems. Falls man das Tape verwendet, soll man es auf eine saubere Oberfläche auftragen und darauf achten, alle Klebstoffreste zu entfernen, sobald das Gurtband sicher befestigt ist. Die Oberflächen, auf die das Klebeband geklebt war, werden mit Lösungsmittel gereinigt und geschliffen.

Das Nylon-Gurtband, ähnlich wie Sicherheitsgurt, hält die Ausrichtung der Platten insbesondere im Stevenbereich besser aufrecht als Draht und macht so normalerweise die Arbeit überflüssig, die Plattenkanten zu begradigen. Wenn man dieses Material verwendet, rundet man die innere Kante der Platten auf einen 2 mm-Radius und schrägt die Außenkante in einem 45°-Winkel vom gerundeten Bereich bis zur äußeren Oberfläche ab. Die Innenseiten aneinanderliegend, verbindet man die Platten nun mit dem Teppichklebeband, das entlang Steven und Kiel gelegt ist, klemmt sie dicht zusammen und prüft, ob sie richtig ausgerichtet sind. Dann klebt man das Gurtband mit einer angedickten Mischung aus Epoxidharz und Colloidalem Silica auf die Außenseite der Kielverbindung, wobei es mit Federklemmen fixiert wird, bis der Kleber ausgehärtet ist. Das Gurtband darf bei dieser Anwendung nicht durch Glasfasergewebestreifen ersetzt werden, da es durch das Tränken mit Harz zu spröde wird. Es kann sein, daß sich das Gurtband bei asymetrischen Rümpfen schwierig verarbeiten läßt.

Wenn man zum Fixieren der Platten Draht verwendet, bohrt man längs des Kiels und des Vorstevens (auch am Achtersteven, wenn der Rumpf ein Spitzgatter ist) Löcher für den Draht. Diese Löcher sollten einen 3 mm-Durchmesser haben, 10 -12 mm von der Kante und ca. 100 mm voneinander entfernt sein. Die Löcher müssen auf beiden Platten perfekt ausgerichtet sein, also sollte man ihre Genauigkeit zweimal überprüfen, bevor man bohrt. Als nächstes bearbeitet man die sich gegenübeliegenden Innenkanten. Das geht am eipfachsten, indem man beide Platten aufeinanderlegt (natürlich mit den zu bearbeitenden Kanten nach außen), zusammenklemmt und beide in einem Vorgang abrundet. Dann legt man die Platten wieder mit den Innenseiten zusammen. 20-Quadrat-Erdungsdraht oder anderer leichter Kupferdraht wird in 125 mm-Längen geschnitten, jeweils durch zwei Löcher gefädelt, umgebogen und locker, wie in Bild 23.5, zusammengedreht. Dabei läßt man genügend Lose, damit sich der Draht nicht in das Holz eingräbt, wenn die Platten auseinandergedrückt werden. Normalerweise verdrahten wir die Platten vom Kiel bis zum Vorsteven einschließlich, aber manchmal lassen wir den Vorsteven in dieser Phase noch offen, um eine größere Völligkeit im Kielbereich erzeugen zu können. Beim Spitzgatter wird auch der Achtersteven verdrahtet oder geklebt.

Sobald die Platten verdrahtet oder mit Gurtband verbunden sind, richtet man sie auf und fängt an, sie wie ein Buch aufzuklappen. Damit das Gewicht der Platten gleichmäßig verteilt und der Vorgang erleichtert wird, stellt man jeweils ein Viertel der Bootslänge vom vorderen und achteren Ende entfernt zwei Sägeböcke unter die Platten. Man schneidet ein paar Stäbe auf Länge, die zwischen die Platten gesteckt werden, um sie zu spreizen, und mißt dann den Kielwinkel zwischen den Platten. Während man die Platten auseinanderbiegt, klemmt man Stützen an die Sägeböcke, die der sperrigen Struktur etwas mehr Halt geben. Zu

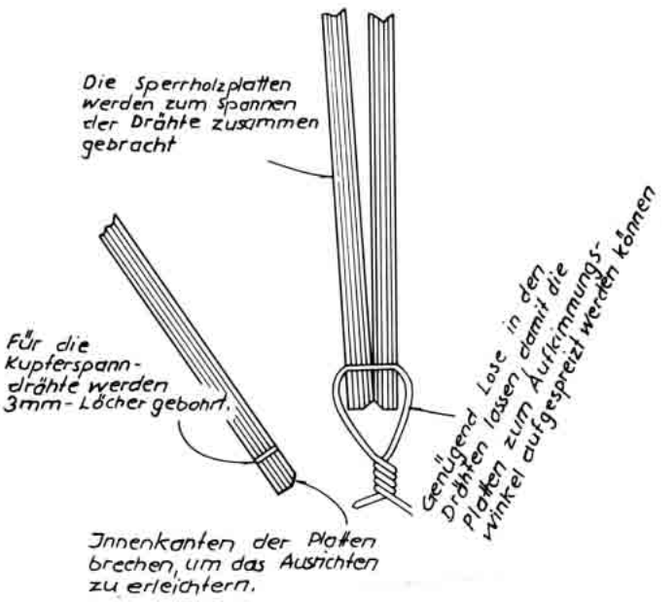

Die Sperrholzplatten werden zum Spannen der Drähte zusammen gebracht
Für die Kupferspann-drähte werden 3mm-Löcher gebohrt.
Genügend Lose in den Drähten lassen damit die Platten zum Aufkimmungs-Winkel aufgespreizt werden können
Innenkanten der Platten brechen, um das Ausrichten zu erleichtern.

Bild 23.5 – Verbindung der Sperrholz-Rumpfplatten mit Draht.

diesem Zeitpunkt hat diese Struktur nicht besonders viel Stabilität; die Platten sind vielmehr sehr flexibel.

Meistens messen wir die Winkel an drei bestimmten Stellen des Kiels und lassen den Rest des Rumpfes sich dazwischen selbst gleichmäßig ausrichten. Im Bugbereich nähert man sich zum Beispiel einem 80°-Winkel, während man mittschiffs vielleicht 140° und am Spiegel womöglich sogar 160° erreichen möchte. Drei Meßstellen sind bei einem 9 m-Rumpf anscheinend genau genug.

Eine Art, mit der man die genaue Einhaltung der Kielwinkel sicherstellt, ist, eine einfache Vorrichtung oder eine provisorische Spantunterstützung zu bauen. Diese klemmt man an die Außenseite des Rumpfes und zwingt die Platten genau in die Lage, die man vorgesehen hat. Hat man drei Meßstellen, baut man für jede Stelle eine Vorrichtung. Oft liegt das Sperrholz nicht eben, wenn es nach außen gebogen wird. Anstatt gerade zu liegen krümmt es sichdeicht nach innen, so daß ein Lineal auf der Außenseite eine hohle Stelle anzeigen würde. Das bedeutet, wenn die Vorrichtung auf 120° eingestellt ist, daß der Winkel am Kiel vielleicht nur 110° beträgt. Die Lösung dieses Problems ist einfach: man biegt die Platten am Balkweger weiter als 120° auseinander, bis die Platten am Kiel den korrekten Winkel eingenommen haben. Bedenken Sie, daß die feste Verbindung ja nur am Kiel hergestellt wird, und in dieser Phase nur der Winkel an dieser Stelle interessiert.

Wenn die beiden Platten auf den geforderten Winkel auseinandergebogen sind, beginnt man mit

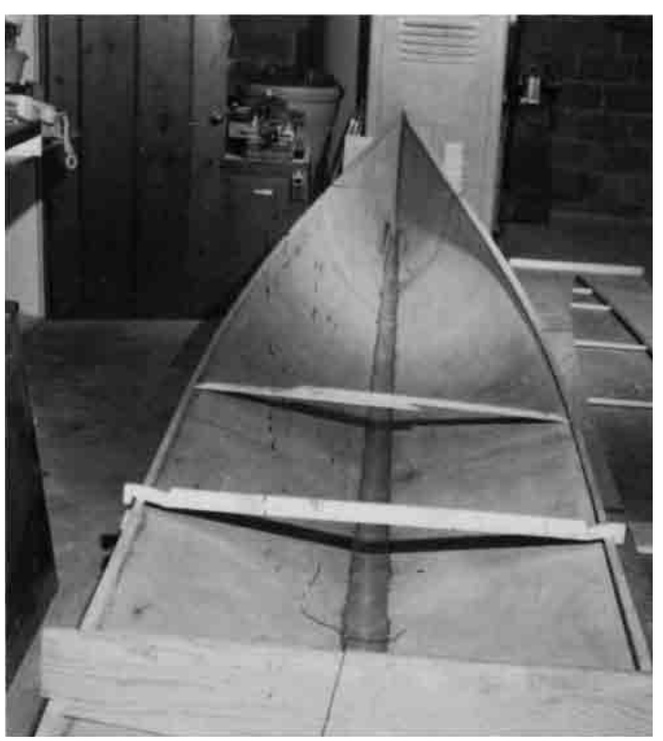


Bild 23.6 – Rumpfplatten eines Tornado Katamarans, mit gekerbten Leisten und Sperrholzmall im korrekten Winkel gehalten.

Bild 23.7 – An diesem Trimaran-Ausleger erkennt man provisorische Spantstützen.

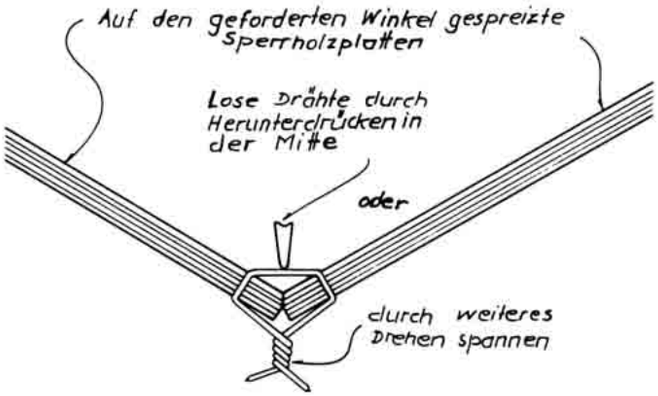

Auf den geforderten Winkel gespreizte Sperrholzplatten
Lose Drähte durch Herunterdrücken in der Mitte
oder
durch weiteres Drehen spannen

Bild 23.8 – Straffen der Drähte einer Kiel-Verbindung.

dem Straffen der Drähte, falls man welche verwendet, bis die Kanten dicht zusammengezogen und zu einer ziemlich geraden Kiellinie ausgerichtet sind. Falls man Nylon-Gurte längs des Kiels verwendet hat, entfällt dieser Schritt. Zu diesem Zeitpunkt neigen die Drähte am Kiel dazu, sich auseinander zu ziehen und bis zu 12 mm weite Spalte zu hinterlassen. Man klopft dann mit einem scharfen Werkzeug auf jeden Draht und macht ihn so zu einer V-förmigen Verbindung. Hierbei versucht man, das Werkzeug auf dem Draht genau mittig zwischen den beiden Platten anzusetzen, da ein genau gemitteltes V gute Passungen hervorruft, wenn die Drähte angezogen werden. Nun dreht man die Drahtenden weiter an, bis die Kanten an der Kiellinie dicht zusammenliegen.

Manchmal können die Drahtknoten so stark verstümmelt werden, daß man keine Kontrolle mehr über die Sperrholzkanten in ihrer Umgebung hat. Am besten knipst man diese Drähte dann ab, entfernt sie und beginnt mit neuen Drähten. In besonders schwierigen Bereichen bohrt man zusätzliche Löcher und fädelt weitere Drähte ein. Falls man dann immer noch Schwierigkeiten hat, liegt das sehr wahrscheinlich daran, daß man die Kanten nicht genug abgerundet hat und/oder ein Buckel oder eine Vertiefung an einer Plattenkante den Strak stört.

Herstellung der Kielverbindung

Wenn die Kielkanten der Sperrholzplatten sich an Ort und Stelle befinden und alle Drähte angezogen sind, beginnt man mit der Herstellung der Kielverbindung. Wir schlagen vor, daß man sich vornimmt die Kielverbindung an einem Tag herzustellen, da man dann nicht zwischenschleifen muß.

Die Komposit-Kielverbindung ist eines der wichtigsten Teile eines Rumpfes aus verformtem Sperrholz. Obwohl Größe und Art von Kielverbindungen von Rumpf zu Rumpf verschieden sind, ist die eigentliche Herstellung bei allen ziemlich ähnlich. Man beginnt, das V, das von den beiden Platten an der Innenseite der Kiellinie gebildet wird, mit einer Hohlkehle aus angedicktem Epoxidharz aufzufüllen, legt Glasfasergewebe oder -gewebeband hinein und bringt mehr Epoxid und Glasfasern auf. Das Harz verbindet die Platten strukturell miteinander und dient gleichzeitig als Kernmaterial zwischen der inneren und äußeren Glasfaserschicht.

Es gibt keine festen Regeln für die Dicke und Weite eines Komposit-Kiels, aber die Hohlkehle sollte mindestens die vorstehenden Drähte abdecken, so daß man die Glasfasern auf eine glatte Fläche aufbringen kann. Die Größe einer Kielverbindung, besonders ihre Breite, hat einen deutlich spürbaren Effekt auf die Form des fertigen Rumpfes und ist ein ziemlich fester Teil der Konstruktion, der sich zum größten Teil nicht biegen läßt. Falls die Verbindung unregelmäßig, in manchen Bereichen größer, woanders kleiner ist, können hohle Stellen und Buckel entstehen. Abweichungen von 10% sind im Kielbereich tolerierbar, aber größere Abweichungen führen zu einem nicht strakenden Rumpf. (Siehe Bild 23.9)

Zur Herstellung der Hohlkehle für die Kielverbindung mengt man leichten Füllstoff dem Epoxidharz bei, damit eine Mischung entsteht, die sich leicht verteilen läßt, aber nicht läuft. Man trägt sie so gleichmäßig und glatt wie möglich auf. Die gezogenen Striche helfen, eine gleichmäßige Hohlkehle zu erzeugen und das Gewebeband gerade zu verlegen. Da es schwierig sein kann, sich über die Kanten der ausgebreiteten Platten zu beugen, bauen wir uns verschiedene „Paddel“, die die jeweilige Kielform widergeben, die wir in bestimmten Rumpfbereichen haben wollen. Damit läßt sich überflüssiger Kleber abnehmen und die Verbindung glattziehen.

Wenn die angedickte Harzmischung teilweise ausgehärtet ist, bringt man Glasfasergewebeband auf die Hohlkehle auf. Falls man damit wartet, bis die Mischung völlig ausgehärtet ist, muß man rauhe Kanten überschleifen. Bearbeitet man die Hohlkehle, während sie noch weich und formbar ist, kann man eventuell rauh werdende Stellen einfach mit dem Glasgewebe abdecken.

Für derart hergestellte Kiele verwenden wir meistens 340 g/m^2-Glasfasergewebeband. Dies ist in verschiedenen Breiten erhältlich; wir halten 50, 75, 100 und 125 firn breite Rollen zum Bau von unterschiedlichen Kielgrößen auf Lager und bauen z.B. mit zwei Lagen Glasfaserstreifen inner- und außerhalb des Kiels Rümpfe, die aus 4 bis 6 mm dickem

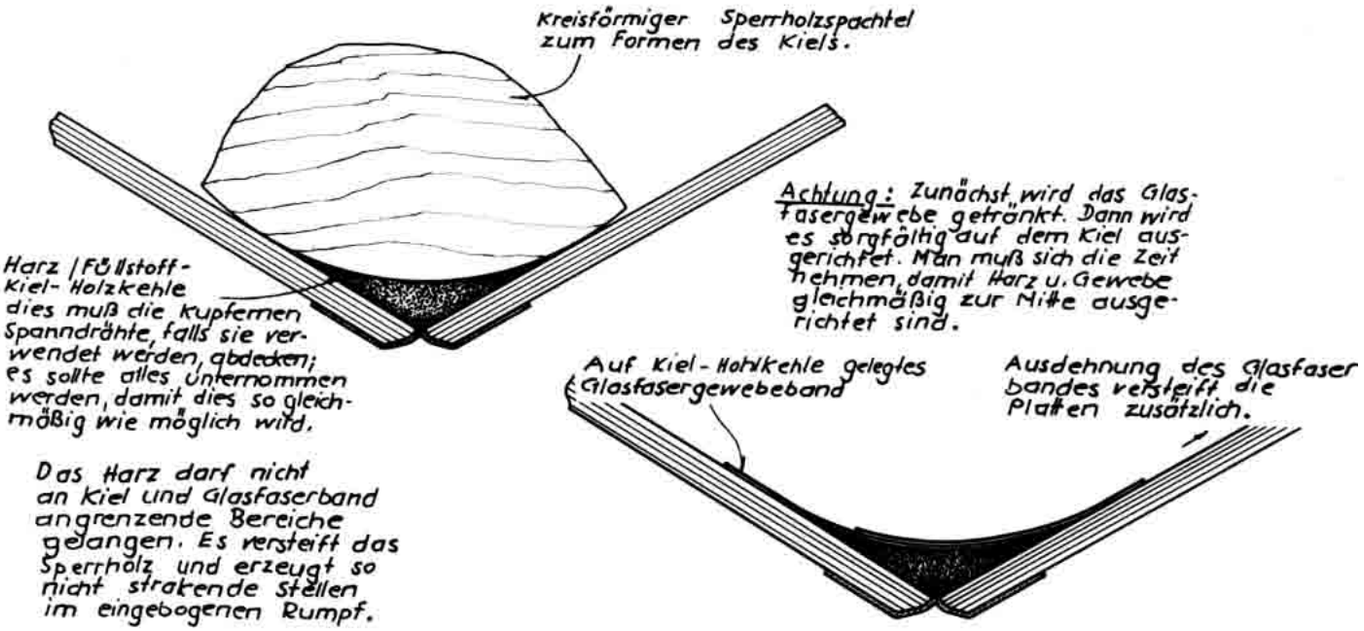

Kreisförmiger Sperrholzspachtel zum Formen des Kiels.
Achtung: Zunächst wird das Glasfasergewebe getränkt. Dann wird es sorgfältig auf dem Kiel ausgerichtet. Man muß sich die Zeit nehmen, damit Harz u. Gewebe gleichmäßig zur Mitte ausgerichtet sind.
Harz / Füllstoff-Kiel-Holzkehle
dies muß die kupfernen Spanndrähte, falls sie verwendet werden, abdecken; es sollte alles unternommen werden, damit dies so gleichmäßig wie möglich wird.
Auf Kiel-Hohlkehle gelegtes Glasfasergewebeband
Ausdehnung des Glasfaserbandes versteift die Platten zusätzlich.
Das Harz darf nicht an Kiel und Glasfaserband angrenzende Bereiche gelangen. Es versteift das Sperrholz und erzeugt so nicht strakende Stellen im eingebogenen Rumpf.

Bild 23.9 – Komposit-Kiel-Verbindungen.

Sperrholz bestehen. Wie die Breite der Kielverbindung, beeinflußt auch die Breite der Glasfaserstreifen die Form des gebogenen Rumpfes. Breiteres Glasfasergewebe bringt zusätzliche Steifigkeit auf das Sperrholz und verringert die Verformbarkeit, die ohne Beschichtung möglich wäre. Am Ende ist der Rumpf entlang der Kiellinie dann voller, und von den Platten wird eine größere Verformung verlangt.

Es gibt mindestens zwei Arten, Glasfasergewebe aufzubringen. Man kann es trocken anbringen, indem man es in den teilweise ausgehärteten Kiel drückt und dann mit einem steifen Pinsel und frischem, nicht angereichertem Epoxidharz tränkt, aber das kann aufgrund der unangenehmen Arbeitshaltung ein langwieriger Vorgang sein. Da man in diesem Winkel ein Rakel nur schlecht handhaben kann, ergibt sich beim trockenen Verlegen ein etwas größeres Gewicht, was man bei kleinen Booten sicherlich vermeiden möchte. Daher ist es vielmehr angebracht, einen ab gelängten Glasfaserstreifen auf einem mit Plastikfolie abgedeckten Brett zu tränken, überflüssiges Harz mit einem Plastikspachtel abzustreifen und dann aufzurollen. Das bringt man zum Kiel, entrollt den Streifen an seinem Platz und glättet ihn. Das Aufbringen der Glasfaser kann am Bug oder anderen beengten Bereichen Probleme bereiten, so daß man an diesen Stellen besser naß verlegt.

Bild 23.10 – Aufbringen von Glasfaserstreifen über Hohlkehle am Kiel eines 9,10 m-Rumpfes.

Bei Kielverbindungen von größeren Booten muß man wohl einen etwas anderen Vorgang entwikkeln, mit dem man das Glasfasergewebeband aufbringen kann. Ein Rumpf ist in dieser Phase sehr empfindlich, so daß man nicht hineinsteigen kann, um die Glasfasern zu verlegen. Stattdessen errichtet man ein Gerüst, auf dem man stehen kann. Man führt einen Rundstab der mindestens 30 cm breiter ist als der Rumpf an seiner breitesten Stelle durch eine Rolle Glasfaserband und legt ihn auf die Rumpfkanten. Sollte das Loch in der Rolle zu klein für den Rundstab sein, biegt man einen Draht-Kleiderbügel zu einem U-förmigen Halter, die Drahtenden zu Haken, damit man den Halter an den Stock

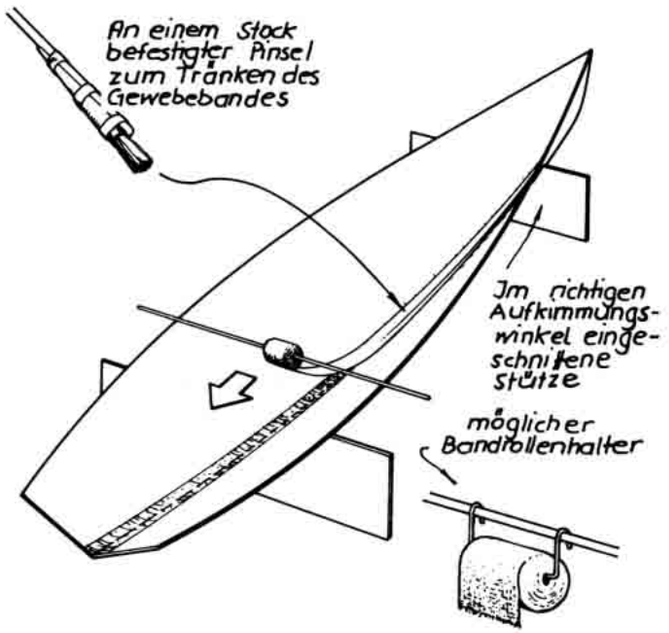

An einem Stock befestigter Pinsel zum Tränken des Gewebebandes
Im richtigen Aufkimmungswinkel eingeschnittene Stütze
möglicher Bandrollenhalter

Bild 23.11 – Aufbringen der Glasfaserstreifen auf den Komposit-Kiel eines großen Rumpfes.

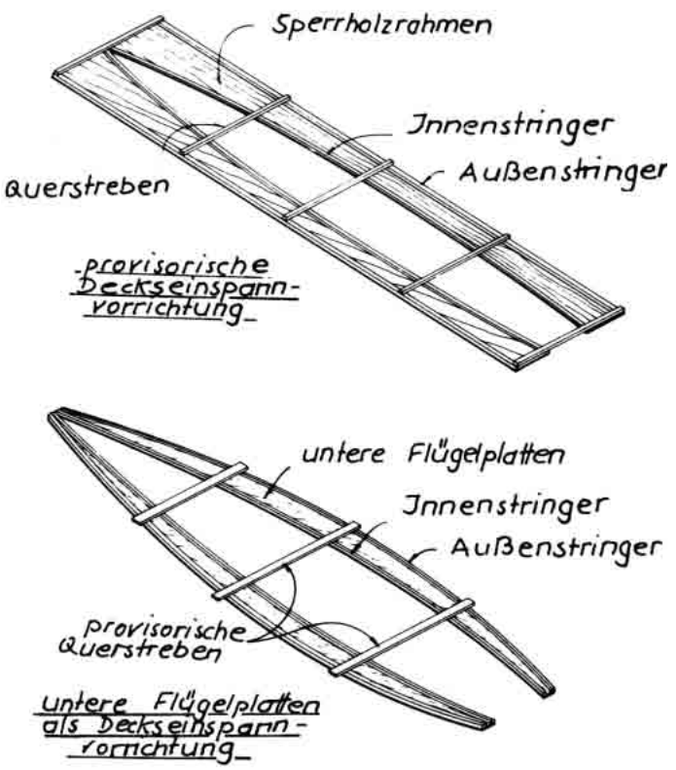


Bild 23.12 – Typische Decks-Einspannvorrichtung und typische Unterflügel-Platten.

hängen kann und benutzt diese Vorrichtung, um das Band abzurollen. Dann sucht man sich einen zweiten Stab – hiermit sollte man den Kiel leicht vom Rand aus erreichen können – und befestigt an ihm einen Pinsel. Wir benutzen dazu steife, 50 mm breite Pinsel, die zum Reinigen von Autoteilen verkauft werden. So rollt man trockenes Gewebeband über dem Kielbereich aus und benutzt den langen Pinsel dazu, das Glasfasergewebe komplett mit Epoxidharz zu tränken.

Bei diesem Vorgang sollte man, egal, wie man die Glasfaserstreifen verlegt, die Führungslinien am Kiel beachten. Das Band soll gleichmäßig verlegt werden, da es die Steifigkeit beeinflußt. Wenn man mehrere Lagen Glasfasern aufträgt, sollte man sie versetzt anordnen, damit ihre Ränder gleichmäßig auslaufen. Verlegt man unterschiedlich breite Bahnen, verlegt man die breiteste zuerst. Auch das Epoxidharz muß kontrolliert verwendet werden. Hier benutzt man wiederum die Markierungen als Bezugslinien und hält die Harzränder gleichmäßig von der Mittellinie des Kiels entfernt.

Das Auffalten

Sobald Kiel und Glasfaserband vollständig ausgehärtet sind, wird das Sperrholz in die Konturen des Rumpfes aufgefaltet. Eine Deckseinspannvorrichtung -normalerweise nichts anderes als der Umriß des Decks in der Draufsicht -ist für diesen Vorgang notwendig. Obwohl Deckseinspannvorrichtungen meistens provisorischer Natur sind, verbleiben sie bei manchen Entwürfen im fertigen Rumpf. Beim Hauptrumpf von einigen Trimaranen entstehen aus einer solchen Einspannvorrichtung manchmal die Unterflügel-Platten, wie in Bild 23.12 gezeigt. In diesen Fällen können Konstruktion und Material der Deckseinspannvorrichtung schon mal von der normalen Funktion abweichen, ihre Funktion bleibt aber gleich.

Diese Vorrichtung stattet man mit einem Kragen aus, der über die Kanten der Balkweger rutscht, wenn der Rumpf eingebogen ist. Dieser Kragen hält die Balkweger in ihrer endgültigen Position. Die Vorrichtung ist äußerst wichtig für den Vorgang des Einbiegens und muß äußerst genau gefertigt werden. Glücklicherweise braucht man dazu nicht viel Zeit und Material.

Meistens versehen wir die Konstruktion unserer Deckseinspannvorrichtungen mit einem ca. 30 cm breiten Sperrholzflansch um die Außenseite, der als Steg zwischen zwei strukturellen Stringern wirkt. Der innere Stringer ist wichtiger, da er die tatsächliche Form der Seite Deck bestimmt, während der

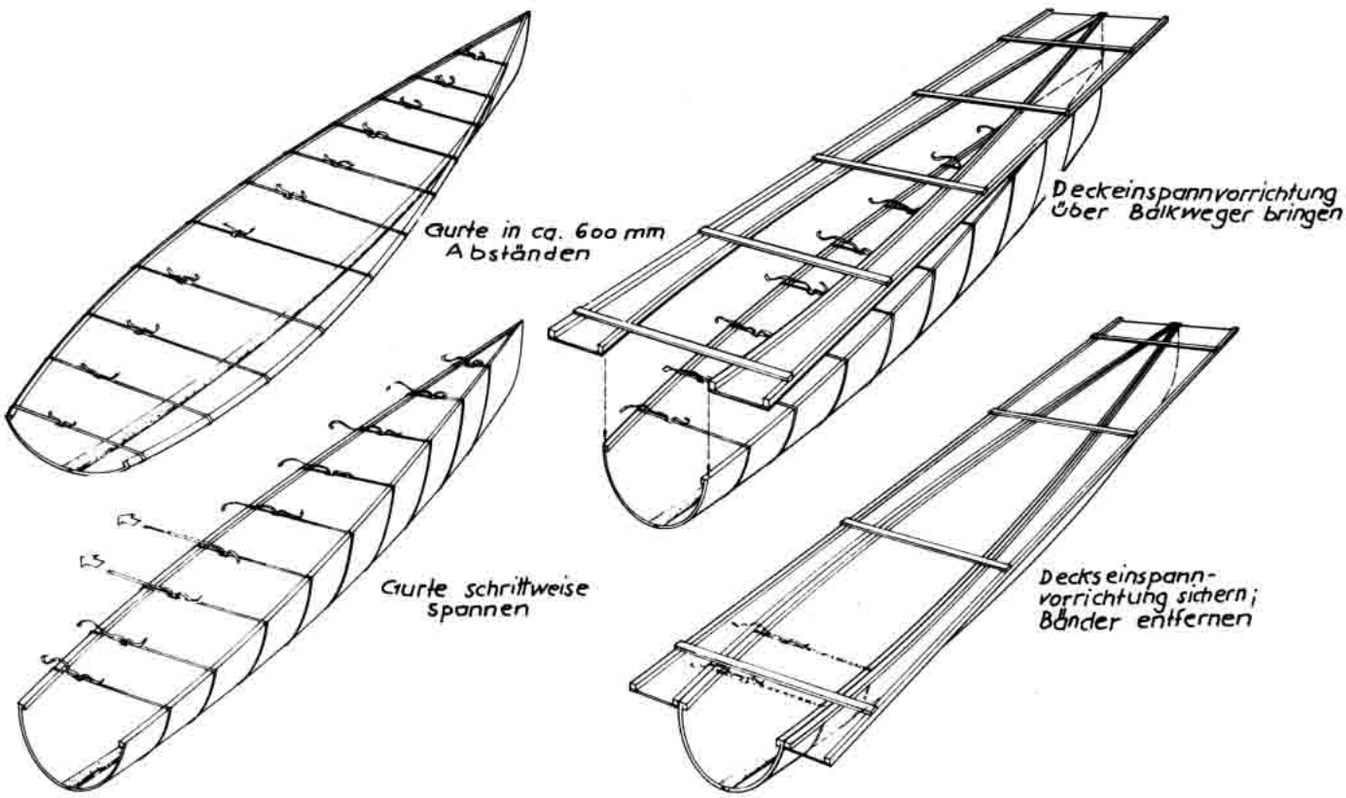

Gurte in ca. 600 mm Abständen
Deckeinspannvorrichtung über Balkweger bringen
Gurte schrittweise spannen
Decks einspann-vorrichtung sichern; Bänder entfernen

Bild 23.13 – Einbiegen mit Plastik-Bändern oder -Gurten.

äußere Stringer als tragendes Konstruktionselement für die Halterung der Deckseinspannvorrichtung dient. Zunächst baut man lediglich die eine Hälfte, nach der man dann eine identische zweite Hälfte fertigen kann.

Zur Bestimmung des Umrisses der Vorrichtungsmaße schnürt man die Seite Deck Linie auf dem Boden auf, wozu man ungefähr vier bis acht Meßpunkte von der Mittellinie aus zu Hilfe nimmt. Zum Bau der Stringer nimmt man gutes Holz, das gleichmäßig strakt und schäftet es, so daß Stringer von ausreichender Größe entstehen. Daraus entsteht das feste innere Teil einer Hälfte der Vorrichtung. Hierzu nimmt man jedoch keine gute Straklatte. Auf diese Stringer klammert und leimt man 30 cm breite Sperrholzplatten, die man bei Bedarf einfach stumpf stößt. Man läßt das Sperrholz etwas überstehen.

Dann klammert und leimt man weitere Stringer unter die Außenkante vom Sperrholz. Dieses Teil soll etwa so stark sein wie der innere Stringer, braucht aber nicht aus erstklassigem Holz zu sein. Das Ganze hebt man vom Boden ab und sägt das überstehende Sperrholz an der Innenkante ab und hobelt es bei. Von dieser Hälfte macht man eine genaue Kopie. Der Genauigkeit wegen schlagen wir vor, die neue innere Leiste lieber an die feste Balkwegerleiste zu klammern, als neu aufzuschnüren. Das Sperrholz und die Außenleiste befestigt man wie beim ersten Mal.

Als Nächstes verbindet man beide Hälften mit Querriegeln. Diese halten die Hälften fest zusammen, erleichtern das genaue Ausrichten und verhindern ein Auseinanderbiegen in der Mitte der Vorrichtung. Die Querriegelliegen auf den Balkwegern auf und sorgen dafür, daß die Vorrichtung nicht abrutscht, sind aber bei den Ausbauarbeiten im Weg, so daß man so wenig wie wöglich verwendet. In den meisten Fällen benötigt man mindestens vier Stück.

Das unhandliche Stück aus verbundenen Sperrholzplatten in die Deckseinspannvorrichtung einzuführen, ist der schwierigste Teil der Bauweise mit verformten Sperrholzplatten und erfordert Geduld, Geschick und viele Helfer. Bei kleineren Rümpfen können ein paar Leute mit dem Einsetzen in die Vorrichtung beginnen, indem sie zunächst die Platten zusammen biegen. Dann biegt man den Bug zusammen und steckt die Haltevorrichtung über den eingebogenen Bug, um diesen Teil des Rumpfes festzuhalten. Das Biege-Team arbeitet sich nach achtern weiter, indem es die Platten Stück für Stück

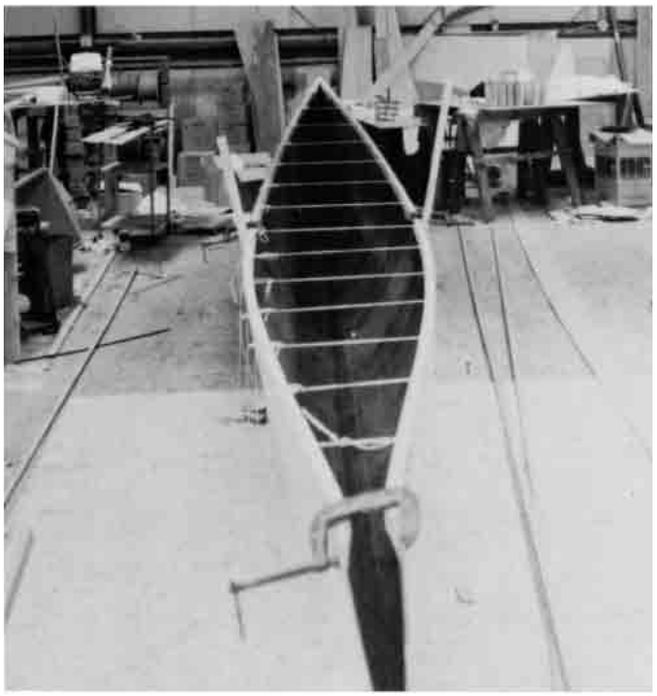


Bild 23.14 – Einbiegen eines 9,10 m-Trimaran-Rumpfes mit Zugbändern. Man beachte, daß die Balkweger am Heck angeschrägt sind, damit sie zusammengeklemmt werden können, wenn der Rumpf gefaltet ist.

einbiegt, so daß der Kragen der Vorrichtung über die Balkwegerkanten in seine Lage rutschen kann. Das Problem bei dieser Art des Einbiegens liegt darin, daß man noch ein paar zusätzliche Leute braucht, die die Deckseinspannvorrichtung stützen müssen, bevor sie vom Rumpf getragen wird. Der Rumpf muß ebenfalls von Helfern gehalten werden, da die Stützen jetzt aufgrund der Formänderung nicht mehr tragen. Sobald man die Decksvorrichtung montiert hat, sind diese Probleme gelöst, weil der ehemals flexible Rumpf jetzt ziemlich steif und fest geworden ist. Jetzt installiert man ein paar Stützen vom Fußboden aus – zur Decksvorrichtung, die den neu geformten Rumpf für die weiteren Arbeiten gut halten.

Auf eine andere Art kann man die Platten mit Plastik-Gurt-Bändern und Clips, die als Ersatz für Metallbänder von der Verpackungsindustrie entwickelt wurden, einbiegen. Diese Bänder schlingt man in 60 cm-Abständen um den Rumpf, wobei man sie so anordnet, daß die Clips leicht zu erreichen sind. Die Seite Deck wird nach innen gedrückt und dabei der Riemen nachgezogen. So geht man nach vorne und achtern weiter und strafft jedes einzelne Band, jeweils die Spannung leicht erhöhend. Das Boot biegt so langsam und sanft in die Form ein, bis vielleicht nur zwei Personen die Deckseinspannvorrichtung über den Rumpf stülpen

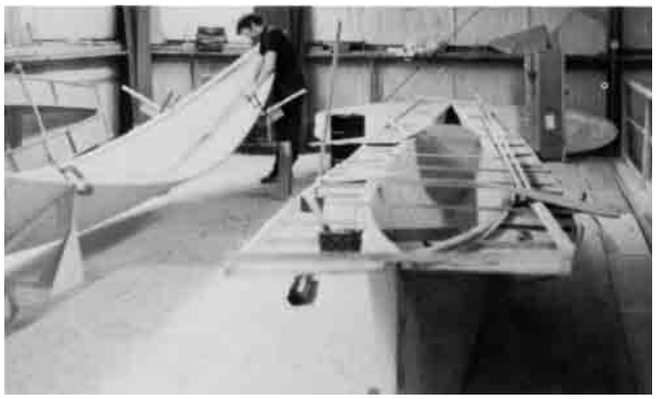


Bild 23.15 – Eingebogener Rumpf mit Decks-Einspannvorrichtung rechts. Links sieht man das Aufbringen der Glasfaserstreifen auf der Kiel-Hohlkehle von Sperrholzrumpfplatten.

können. Das sieht manchmal schwerer aus als es ist, bis man die Vorrichtung montiert hat; also lassen Sie sich nicht entmutigen. Wenn sich die Vorrichtung an Ort und Stelle befindet, entfernt man die Bänder und beginnt mit dem Innenausbau.

Obwohl sich die Bänder in den meisten Fällen anbieten, insbesondere bei großen Rümpfen und Masten, kann man auch dünne Leinen verwenden. Dazu schraubt man ca. alle 60 cm Schrauben in die Balkweger und läßt ihre Köpfe so weit herausragen, daß man die Leinen leicht an ihnen anschlagen kann. Eine Spannleine wird um jeweils zwei gegenüberliegende Schrauben gebunden und mit einem Stopperstek verknotet. Die Leinen werden entlang des Rumpfes mit gleichmäßiger und ständig steigender Spannung festgezurrt, indem man an den Knoten zieht.

Versteifung der geformten Sperrholzhaut

Jeder Rumpf erfordert ein gewisses Rahmenwerk zur Verteilung von Spitzenlasten über die Rumpfaußenhaut. Die von uns zur Verteilung der Lasten verwendeten Rahmensysteme wichen ziemlich stark voneinander ab. Kleinere Boote, wie der 5,50 m lange Unicorn-Katamaran haben lediglich drei Schotte und ein paar Stringer, um die Lasten auf die 4 mm-Sperrholzhaut zu verteilen, was sich als ausreichende Versteifung für einen langlebigen Rumpf herausgestellt hat. Wenn die Boote größer werden, benötigen sie jedoch zusätzliche Versteifungen der Außenhaut, da die auftretenden Lasten enorm anwachsen, wobei die Außenhautdicke nur im geringen Maß zunimmt, z.B. von 5 auf 6 mm.

Ein weiterer Faktor, der den Grad der Versteifung bestimmt, ist die Steifigkeit der Außenhaut an

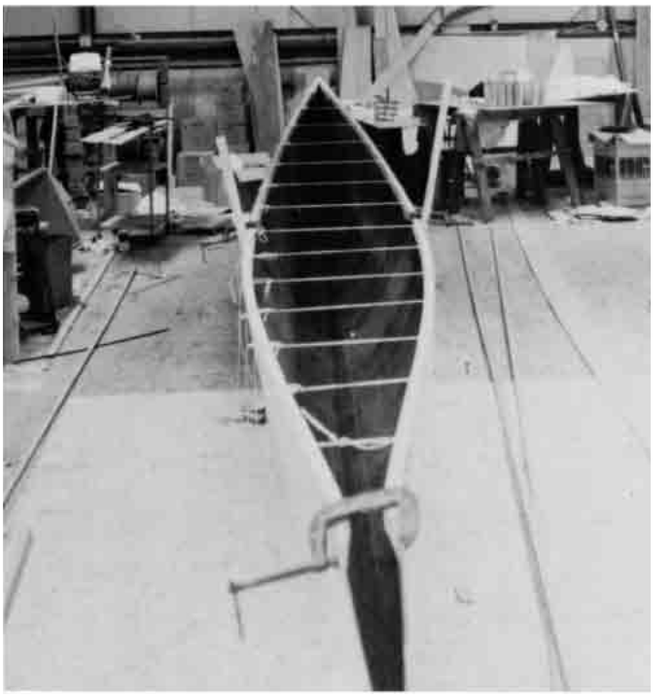


Bild 23.16 – In Form eingebogener 9,10 m-Rumpf mit einlamellierten Zwischenstringern.

Bild 23.17 – Druckstäbe und Verstrebungen der Zwischenstringer in einem Toruado-Katamaranrumpf. Man beachte die kleinen Sperrholzlaschen, die die Streben mit den Stringern verbinden. Kleine Sperrholz-Halbspanten werden an der Außenhaut befestigt. Diese Spanten werden mit Hohlkehlen an der Außenhaut befestigt. Der senkrechte Pfosten in der Bildmitte ist der Schwertkasten.

sich. Wenn man die Steifigkeit der Außenhaut verbessert, sind weniger Versteifungen erforderlich. Die Beschichtung der Sperrholzplatten innen und außen mit WEST SYSTEM Harz verbessert die Steifigkeit der Schale sehr. Ein weiterer Schritt ist es, 130 bis 340 g/m^2 starkes Glasfasergewebe innen und außen auf den Rumpf aus verformtem Sperrholz zu laminieren. Obwohl die Gewichtszunahme erheblich ist, kann die Außenhaut erstaunlich leicht sein, zu diesem Zeitpunkt vielleicht noch nicht einmal 50% des Rumpfgesamtgewichts. Daher kann man sich das zusätzliche Gewicht wohl leisten. Der Hauptvorteil bei der Verwendung von Glasfasergewebe zur Versteifung der Außenhaut, besteht darin, daß es leicht und schnell mit guten Ergebnissen aufzutragen ist. Der Auftrag von Glasfasergewebe auf der Außen- und Innenseite der Schale ist bei dreilagigem Sperrholz am effektivsten, da es nach der Verformung der Sperrholzplatten eine 5-lagige Struktur ergibt, die die Festigkeit und Steifigkeit erheblich erhöht. Wenn man Glasfasern verwendet, trägt man zu diesem Zeitpunkt nur die innere Schicht auf, und läßt die Außenseite zum späteren Beschichten noch unbehandelt, bis der Ausbau fertig ist, so daß die Decksvorrichtung entfernt und der Rumpf umgedreht werden kann. In dieser Lage ist die Glasfasergewebeschicht wesentlich einfacher aufzubringen.

Eine weitere Methode, einen Rumpf ganz oder teilweise zu versteifen, besteht darin, die Sperrholzhaut wie einen Kern zu behandeln, über den weitere Lagen Furnier oder Sperrholz verleimt werden können. Dies kann man sowohl auf der Innen- wie auf der Außenseite des Rumpfes vornehmen, wobei es bestimmt einfacher und effektiver auf die Außenseite aufgebracht werden kann, wenn der ganze Rumpf beschichtet werden soll.

Eine weitere, von uns angewendete, interessante Bauweise, die sich aber noch in der Experimentierphase befindet, ist, Wabenmaterial auf die Innenseite der Sperrholzschale mit einer angedickten Epoxidharzmischung zu kleben. Danach decken wir den Wabenkern mit 340 g/m^2-Glasfasergewebelaminat ab, um Sandwichplatten zu erhalten, die einen hohen Steifigkeitsgrad bei geringem Gewicht besitzt. Die einzige Schwierigkeit bei diesem Ansatz besteht darin, zu ermitteln, auf welche Weise man hohe Lasten von bestimmten Punkten auf die Innenseite der Rumpfschale mit den eingebauten Waben verteilt. Im Fall der in Bild 23.18 gezeigten Trimaranaußenrümpfe waren nur wenige Lastpunkte zu berücksichtigen, so daß sie auf natürliche

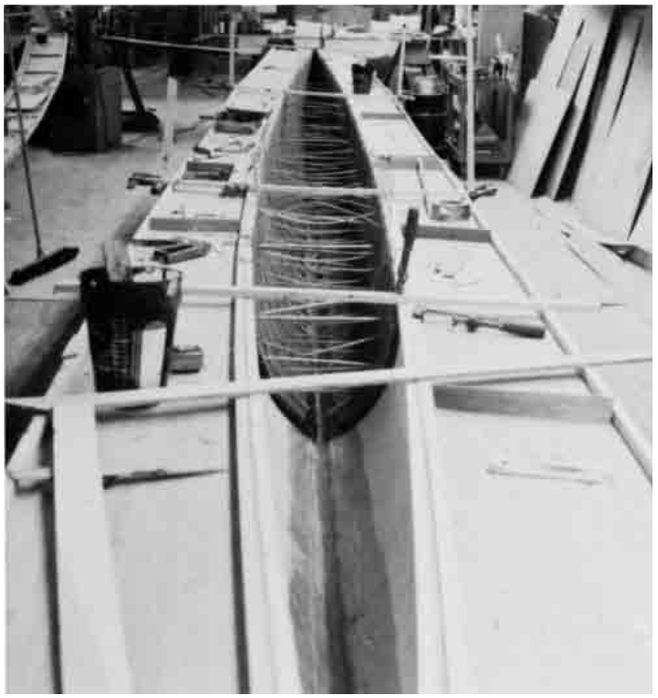


Bild 23.18 -ExprimenteUes Einkleben von Verticel™ und Glafaserplatten an der Innenseite eines vedormten Sperrholzrumpfes. Die Stäbe bringen den Druck auf, mit dem das Verticell gegen den Sperrholzrumpf gedrückt wird. Als diese Verleimung ausgehärtet war, wurde 340 g/m²-Glasfasergewebe auf die Innenseite des Verticel-Kerus laminiert.

Weise gut für diese Außenhautversteifung geeignet waren. Der Vorteil des Systems lag bei diesem Beispiel darin, daß nur wenig Arbeitszeit notwendig war, die Waben und das Glasfaserwewebe zu montieren und, daß keine weitere Versteifung der Außenhaut notwendig war.

Bevor man irgendein Rahmenwerk einbaut oder Versteifungen der Schale vornimmt, muß man sicher sein, daß keine Veränderungen an der Rumpfform mehr nötig sind. Falls das nicht der Fall ist, kann man jetzt noch leicht einige Modifikationen am Rumpf vornehmen. Man kann den Rumpf zum Beispiel an verschiedenen Stellen nach innen, oder an anderen Stellen mit provisorischen Streben oder Stützen nach außen drücken. An diesem Punkt ist man ganz beim Bootsbau nach Augenmaß angelangt, da man weder Spantriß noch Aufmaßtabelle besitzt, von denen man ausgehen könnte. Wenn man einen selbst entworfenen Rumpf baut, kann man ver,schiedene Parameter als anzustrebende Werte bei der Entwicklung einer bestimmten Rumpfform schon frühzeitig bestimmen. Sie werden später besprochen. Falls man nach Plänen baut (z.B. einen Tornado Katamaran), gibt es außer den anfänglichen Bauvorschriften keine Anhaltswerte zur Bestimmung der endgültigen Rumpfform. Interessanterweise sind die entstehenden Unterschiede zwischen den Rümpfen der einzelnen Hersteller (wie die Vermessungsschablonen der Klassenvereinigungen zeigen) beim olympischen Tornado überraschend gering.

Schotte, Spanten und Decksbalken

Wie bei anderen Bootsbauweisen werden Schotte auch bei der Bauweise mit verformten Sperrholzplatten als wichtigstes Element zur Übertragung hoher Lasten auf die Außenhaut verwendet. Bei der Biegebauweise benutzen wir häufig Schotte zur Verteilung der hohen Spannungen, die durch Querträger, Masten, Vorstage, Schwerter und Püttings hervorgerufen, bzw. eingeleitet werden.

Da es keine aufgeschnürten Konstruktionsspanten gibt, nach denen man vorgehen könnte, muß man die Form der Schotte mit Hilfe von provisorischen Mustern bestimmen, die an den Rumpf angepaßt und dann als Schablone zum Ausschneiden der

Bild 23.19 – Konstruktionselemente in einem 9,10 m-Trimaran-Ausleger. Beam-(Querträger-) Versteifung und Schwertkasten sind mit Schotte und Zwischenstringeru verstrebt und gesichert.

Bild 23.20 – Schotte verstärken die lamellierten Stelzen, mit denen die Beams verleimt werden.

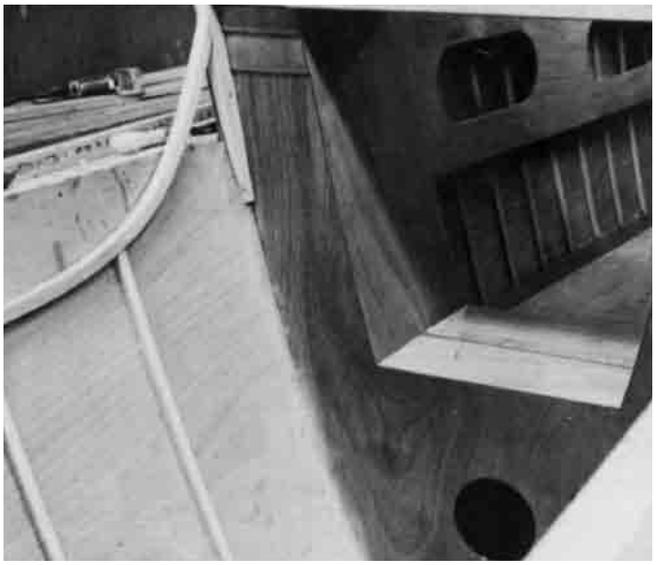


Bild 23.21 – Lamellierte Spanten, kastenförmiges Schott, Schwalbennester und Deckel der Sitzbänke, alle versteifen die verformte Sperrholz-Außenhaut bei diesem 10,70 m-Renntrimaran.

Schotte verwendet werden. Diese Muster stellt man her, indem man ein Stück des Schablonenmaterials an jede Seite anpaßt. Dann verbindet man die beiden Hälften oben mit einer Strebe und unten durch Überlappung oder eine weitere Strebe miteinander, damit eine komplette Schablone der Rumpfform an einem bestimmten Spant entsteht. Dann überträgt man dieses Muster auf ein Sperrholzstück und schneidet dies als Schott zurecht. Vermutlich muß man das Schott noch etwas nacharbeiten, aber das hält sich bei sorgfältiger Anwendung des Schablonen-Systems in Grenzen. (Details siehe Kapitel 24.)

Die Schotte baut man ein, indem man sie mit Hilfe von Hohlkehlen auf beiden Seiten vom Sperrholz mit der Rumpfaußenhaut verbindet. Normalerweise reichem wir das Epoxidharz mit leichten Füllstoffen an, um leichte Hohlkehlen herzustellen, die große Klebeflächen zwischen Schott und Außenhaut ergeben. Weiter kann man die Außenhaut mit einlamellierten Spanten versteifen, die aus dünnen, leicht zu biegenden Holzstreifen hergestellt werden. Die Holzstreifen werden aufeinander zu einem Stapel verleimt und mit nichtrostenden Klammern geheftet, die in der Verleimung bleiben können. Bei einer anderen Versteifungs art werden Sperrholzrahmenspanten zugeschnitten, angepaßt und mit Hohlkehlen in derselben Technik eingeklebt, wie die Schotte (siehe Bild 23.17). Manchmal sind Stringer als zusätzliche Längsversteifungen notwendig. Wir bauen Stringer ein, indem wir sie provisorisch mit Klammern und Streben halten, bis der Kleber ausgehärtet ist. Wenn wir die Stringer von außen durch das Sperrholz festklammern, bohren wir vorher kleine Löcher durch die Außenhaut, die den Verlauf der Stringer auf der Innenseite nach außen zum Klammern übertragen. Es ist auch möglich, Stringer schon vor dem Verformen der Sperrholzplatten aufzuleimen, aber wir raten davon ab, Stringer, die größer als 12 mm sind, auf die ebenen Platten zu leimen, weil dadurch Knicke hervorgerufen werden können und das Sperrholz in diesen Bereichen beim Einbiegen zu hohen Spannungen ausgesetzt wird.

Abhängig davon, was für ein Rumpf gebaut werden soll, hat man eine Menge weiterer Teile einzubauen. Darunter sind Schwertkästen, spezielle Abteilungen und, bei größeren Booten, Inneneinrichtung. Einige von diesen Einbauteilen kann man installieren, nachdem die Deckshaltevorrichtung vom Rumpf genommen worden ist; große Teile muß man jedoch jetzt einbauen, da die Decksbalken, die benötigt werden, um die Balkweger endgültig einzuspannen, später im Weg sind.

Die Decksbalken sind immer die zuletzt eingebauten Elemente, bevor man die Deckshaltevorrichtung vom Rumpf hebt. Die Decksbalken haben in dieser Phase die wichtige Aufgabe, den oberen Rumpfbereich zu halten, damit er nicht die Form verliert, wenn man die Haltevorrichtung entfernt. Es gibt verschiedene Kombinationen, die wir erfolgreich zum Bau von Decksbalken eingesetzt haben. Im allgemeinen benutzen wir dafür kleine Reststücke von Sperrholz, die breit genug sind. Das

I-Träger-Decksprofil (wie in Bild 23.26 gezeigt) ist sehr einfach zu bauen und bietet einen maximalen Grad an Belastbarkeit in Bezug auf das Gewicht der Decksbalken. Normalerweise versagen weniger die Decksbalken selbst als vielmehr deren Verbindung zu den Balkwegern. Das I-Träger-Decksbalken-System bietet hier die größte Klebefläche an dieser Verbindung und ist in der Lage, dieses Versagen auszuschalten. Einfache Sperrholz-Decksbalken reichen in vielen Situationen auch aus, vorausgesetzt, sie sind tief genug, um nicht aufgrund der Zugbelastung zu brechen, und daß die Verbindung mit den Balkwegern groß genug für großzügige Hohlkehlen sind, damit eine anständige Verbindung entsteht. Da die Balkweger bei dieser Bauweise relativ klein sind, haben wir von irgendwelchen dreieckigen Kerbungen der Balkweger zur Aufnahme der Decksbalken Abstand genommen.

Bild 23.22 – Verschiedene Spanten, Schotte und Inneneinrichtung zur Stützung der Sperrholz-Außenhaut eines 10,70 m-Trimarans.

Bild 23.23 -Kojenboden und lameUierte Spanten zur Verstei fung der Rumpf-Außenhaut.

Wenn die Decksbalken eingebaut und die innere Versteifung fertig ist, benötigt man die Deckshaltevorrichtung nicht mehr. Man entfernt sie und dreht den nun starren Rumpf auf den Kopf. Hat man am Kiel Gurtband verwendet, zieht man es jetzt ab. Hat man Drähte benutzt, kann man sie bündig mit der Oberfläche abschneiden, wobei wir meinen, daß das Schlichten erleichtert wird, wenn man sie herauszieht.

Straken und Endbehandeln

Danach kann man mit dem allgemeinen Straken der gesamten äußeren Rumpfoberfläche anfangen. In der Regel muß nur wenig nachgestrakt werden, denn das Sperrholz verformt sich auf natürliche Weise zu einer wunderbar gleichmäßigen Oberfläche, wenn man die Platten sauber miteinander verbunden hat. Normalerweise findet der Strakvorgang ausschließlich am Kiel statt, wo üblicherweise leichte Ausrichtungsfehler auftreten, die kleine Buckel und Senken hervorrufen. Den Kiel kann man leicht mit einer Kombination aus AufspachteIn von hohlen Stellen und Beihobeln von Buckeln straken. Hier darf man nicht in den Komposit-Kiel hobeln; Die Linie, an der die beiden Platten zusammentreffen muß als Hilfslinie zum Straken eines geraden Kiels erkennbar bleiben. Wenn man Kiellinie und Steven ausgerichtet hat, kann man den Kiel auf einen beliebigen Radius runden.

Sobald Kiel und Vorsteven straken und wie gewünscht abgerundet sind, bringt man mindestens

Bild 23.24 – Einbau von Decksbalken bei einem Tomado-Rumpf. Man beachte die Kerbungen für einen Stringer entlang der Mittellinie.

Bild 23.25 – Decks-Rahmenwerk eines Trimaran-Auslegerrumpfes, bestehend aus Sperrholz-Decksbalken und Spruce-Stringern.

Bild 23.26 – Unterzüge für I-Träger-Decksbalken sind mit der Unterkante der Balkweger verleimt. Die Stege der 1-Träger-Decksbalken werden auf die Unterzüge geleimt. Sie werden so aussehen, wie in Bild 23.25.

Bild 23.27 – Bau von 10,70 m-Trimaran-Auslegerrümpfen. Diese Rümpfe werden jetzt mit Epoxidharz und Glasfasergewebe beschichtet. (Siehe Kapitelll und 12.)

zwei Schichten 340 g/m^2 Glasfasergewebeband an der Kielaußenfläche auf. Dieses Glasfasergewebe vollendet die Konstruktion des Komposit-Kiels und bietet außerdem Abriebfestigkeit im Kielbereich, wenn das Boot auf den Strand gezogen wird (bei den meisten leichten Multihulls üblich). Zum Aufbringen der Glasfasergewebestreifen auf den äußeren Kielbereich streicht man zunächst nur die Oberfläche mit einer leichten Harzschicht ein. Man bringt das Glastape trocken auf diese Fläche auf und legt es fest in das Harz ein. Dann tränkt man das Glasfasergewebe, indem man mehr Harz zugibt, entweder mit der Rolle, oder durch Gießen

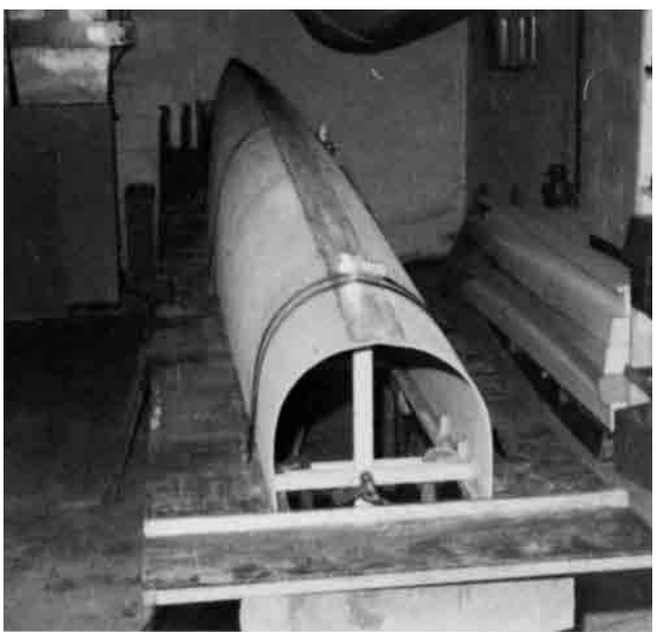


Bild 23.28 – Tornado-Katamaranrumpf, zusammengefaltet und in die Decks-Einspannvorrichtung gesteckt. Die Außenseite des Kiels ist gestrakt und mit Glasfasergewebeband beschichtet.

aus dem Mixbecher und gleichzeitigem Verteilen mit einem Plastikrakel. Normalerweise warten wir dann, bis die Kielbeschichtung ausgehärtet ist und feilen oder schleifen dann die Glasfaserkanten so glatt wie möglich. Dann bemühen wir uns, diese mit Spachtel einzustraken, wozu wir leichten Füllstoff verwenden. Wenn die Außenseite mit Glasfasergewebe beschichtet werden soll, warten wir mit dem Beispachteln, bis wir das Gewebe aufgetragen haben. Andere Rumpfbereiche müssen vielleicht auch gestrakt werden. Das kann die Schäftungen betreffen und vielleicht die Senken, die sich möglicherweise gebildet haben.

Die letzte Phase des Rumpfbaus ist das Straken der Decksbalken und der Einbau von anderen Decksversteifungen, wie beispielsweise Decks-Längsstringer. (siehe Kapitel 25.)

Entwurfsrichtlinien zum Bau von Modellen

Zur Zeit ist der Vorgang, Rümpfe mit verformtem Sperrholz zu entwerfen, noch nicht besonders wissenschaftlich. In Wirklichkeit ist es wohl eher eine Kombination aus Kunst und gesundem Menschenverstand, als alles andere. Bis jetzt haben wir keine wirklich schlechten Rümpfe gesehen, die mit der Sperrholz-Biegemethode gebaut wurden, weil sie anmutige Formen hervorbringt, aber das ist wohl das einzige ermutigende Wort, das wir aussprechen können.

Die Grenzen des Sperrholz-Verformungs-Systems fordern große LängenlBreiten-Verhältnisse und hohe Zylinder koeffizienten ohne scharfe Linien. Diese Faktoren zusammen ergeben Rümpfe, die leicht durchs Wasser gehen. Die eigentlichen Schwierigkeiten beim Entwurf liegen darin, genügend Verdrängung bei gegebener Bootslänge zu erhalten, die benetzte Oberfläche auf ein akzeptables Maximum zu begrenzen und eine solche Verdrängungsverteilung zu erreichen, daß ein seegängiges und manövrierfähiges Schiff entsteht, das vollbeladen richtig auf seiner Konstruktionswasserlinie schwimmt. Mit der Sperrholz-Biegebauweise kann man nicht immer bauen, was man gezeichnet hat; es ist besonders schwierig, alle diese Entwurfskriterien in der Zeichnung zu berücksichtigen.

Jahrhundertelang war der Modellbau eine Alternative zum Entwurf auf dem Zeichentisch. Nathaniel Herreshoff hat die Technik verfeinert, Modelle sorgfältig zu bauen, testen und ändern, bis er mit dem Entwurf zufrieden war, und dann die Aufmaße vom Modell zu nehmen. Wir benutzen Modelle zur Entwicklung von Rümpfen aus verformten Sperrholzplatten, da dies bei dem derzeitigen Entwicklungsstand dieser Bootsbauweise als einzig praktikabler Weg erscheint, Genauigkeit zu erreichen.

Durch Entwurf und Bau von Modellen im Maßstab 1:10 haben wir die Möglichkeit, die Ergebnisse vom Modell auf die Großausführung nur mit kleinem Fehler zu übertragen. Wir haben viele Modelle eines bestimmten Entwurfs gebaut, bei dem wir leichte Änderungen von verschiedenen Parametern an den einzelnen Modellen vorgenommen haben, bis wir schließlich erreicht hatten, was wir wollten. Dann haben wir die Abmessungen des Modells auf Papier übertragen und vergrößert, bis wir die Großausführung leicht bauen konnten. Aufgrund der begrenzten Rumpfformen, die bei dieser Bauweise zur Verfügung stehen, ist die notwendige Entwurfsarbeit nicht so kompliziert, wie man sich das vorstellt. Da die Grenzen klein sind und es nur wenige Variationsmöglichkeiten gibt, braucht man nicht Viel Zeit beim Modellbau, um den Fächer der zu berücksichtigenden Variablen kennenzulernen. Es ist jedoch hilfreich, wenn man das Konzept des Verformens von Oberflächen verstanden hat. Es lohnt sich, ein Lehrbuch über das Verformen von Metallplatten zu studieren, weil darin die grundlegenden Konzepte besprochen werden, die eng mit dem Verformen von Sperrholzplatten verwandt sind.

Zuerst bestimmt man die Hauptabmessungen des zu entwerfenden Rumpfes. Sie beinhalten die benötigte Verdrängung. Die durch das Verformen von Sperrholz bei gegebener Länge erreichbare Verdrängung ist jedoch begrenzt. Möchte man beispielsweise ein 6,10 m-Boot bauen, das eine Verdrängung von 320 kg benötigt, dann stellt sich später vielleicht heraus, daß man bei derselben Länge lediglich eine Verdrängung von 230 kg erreichen kann, und die zusätzlichen 90 kg Auftrieb eine Länge von 6,70 oder 7,00 m erfordern würden. Ein weiterer Faktor, der diese Entscheidung beeinflußt, ist die Sperrholzdicke, die verwendet werden soll. 6 mm-Sperrholz kann nicht so stark gebogen werden wie 3 oder 4 mm dickes Sperrholz, und reduziert daher das Auftriebspotential. Eine zweite Überlegung betrifft die Auftriebsverteilung am Rumpf. Möchte man eine große Reserveverdrängung am Heck haben? Möchte man ein schlankes oder volles Vorschiff, und wie viel Reserveverdrängung möchte man weiter oben am Bug haben?

Wir sind immer wieder über den Verformungsgrad und die Formenvielfalt erstaunt, die man mit Sperrholzplatten erzielen kann. Im Moment können wir nur die Verformungsgrade bekanntgeben, die wir tatsächlich an Rümpfen erreichen konnten, welche wir in der Vergangenheit gebaut haben. Zur

Tabelle 23.29 – Biegeraten von Rümpfen, die von Gougeon ausgeführt worden sind.

Bootsname	Rumpflänge (in mm)	Sperrholzdicke	Querbiegung (in mm auf 300 mm)	Längsbiegung (in mm auf 2,44 mm)
VICTOR T (Hauptrumpf)	7,65	3-lagig 5 mm	38	19
VICTOR T (Ausleger)	5,20	3-lagig 3 mm	51	16
ADAGIO (Hauptrumpf)	10,70	3-lagig 6 mm	22	25
ADAGIO (Ausleger)	10,10	3-lagig 6 mm	35	29
FLICKA (Ausleger)	9,15	5-lagig 7 mm	37	25
A-KATAMARAN	5,50	3-lagig 3 mm	76	13
SPLINTER (Hauptrumpf)	7,60	3-lagig 6 mm	32	25
OUTRIGGER CANOE	7,30	3-lagig 4 mm	38	51
OLLIE[1] (Hauptrumpf)	10,70	5-lagig 7 mm	37	25

[1] Außenseiten der Platten wurden vor dem Verformen mit 135 g/m² Glasgewebe beschichtet.

Messung der Verformungsrate haben wir die in einem mittschiffs liegenden 2,44 x 0,30 m-Bereich auftretende Verformung bestimmt. (Die Ergebnisse sind in Tabelle 23.29 aufgeführt.)

Sobald man die Hauptabmessungen des Rumpfes gewählt hat, fertigt man eine grobe Skizze von Form und Umriß des Bootes nach seinen Vorstellungen an. Mit dieser groben Zeichnung beginnt der Modellbau. Ziel ist, zwei Modell-Sperrholzplatten abzuwickeln, die sich, richtig miteinander verbunden, in eine ähnliche Form biegen, die man sich vorgestellt hat. Eine Vorstellung von abwickelbaren Formen hilft hier beim Abwickeln der ersten Sperrholzplatte nach dem groben Entwurf.

Schwierig ist es, Linien auf einer ebenen Platte zu entwickeln, die das gewünschte Boot ergeben, wenn die Platten verformt werden. Wie wir oben bereits erwähnten, bestimmen im Grunde genommen der Kielsprung, oder die Seitenansicht, die Kielwinkel und die Seite Deck Linie die Rumpfform.

Im allgemeinen ist bei Rümpfen mit vollen Hinterschiffen und Spiegel der Kielsprung der ebenen Platte ähnlich wie bei dem eingebogenen Rumpf. Bei gegebenem Kielsprung hat ein Spitzgatter mehr Kielsprung als ein Rumpf mit vollerem Hinterschiff, so daß man bei Spitzgattern mehr Kielsprung in die Platte schneiden kann, um das gewünschte Maß beim fertigen Rumpf zu erreichen. (Siehe Bild 23.30.) Bug und Vorsteven sind ziemlich einfach, da die flach geschnittene Form ganz ähnlich wie der verformte Umriß ist, mit der Ausnahme, daß die äußerste vordere Spitze etwas nach hinten rutscht, wenn die Platten an der Seite Deck aufgespreitzt werden. Meistens muß man mit dem Modell ein wenig arbeiten und diese Punkte ausgleichen, damit man die gewünschten Vorsteven oder Spiegel erhält.

Die Seite Deck ist manchmal etwas schwieriger zu bestimmen als die Kiellinie. Der Umriß der auf einer ebenen Platte angerissenen Seite Deck kann von der Seite Deck Linie des fertigen Rumpfes erheblich abweichen. Die Seite Deck Linie des fertigen Rumpfes wird von‘ vielen Variablen, einschließlich Rumpfbreite, Völligkeit des Rumpfes und Verformungsgrad innerhalb der Konstruktion, beeinflußt. Normalerweise muß Anpassungsarbeit geleistet werden, damit sie auch am Hauptspant gekrümmt ist. All diese Faktoren sollten bei der Bestimmung der endgültigen Seite Deck Linie berücksichtigt werden. Hier darf man auch nicht vergessen, daß die Seite Deck Linie gleichmäßig, ohne Buckel und Senken, über die ganze Länge gekrümmt sein soll.

Grundsätzliche Aufschlüsse über den Verlauf von Seite Deck und deren Höhe erhält man aus

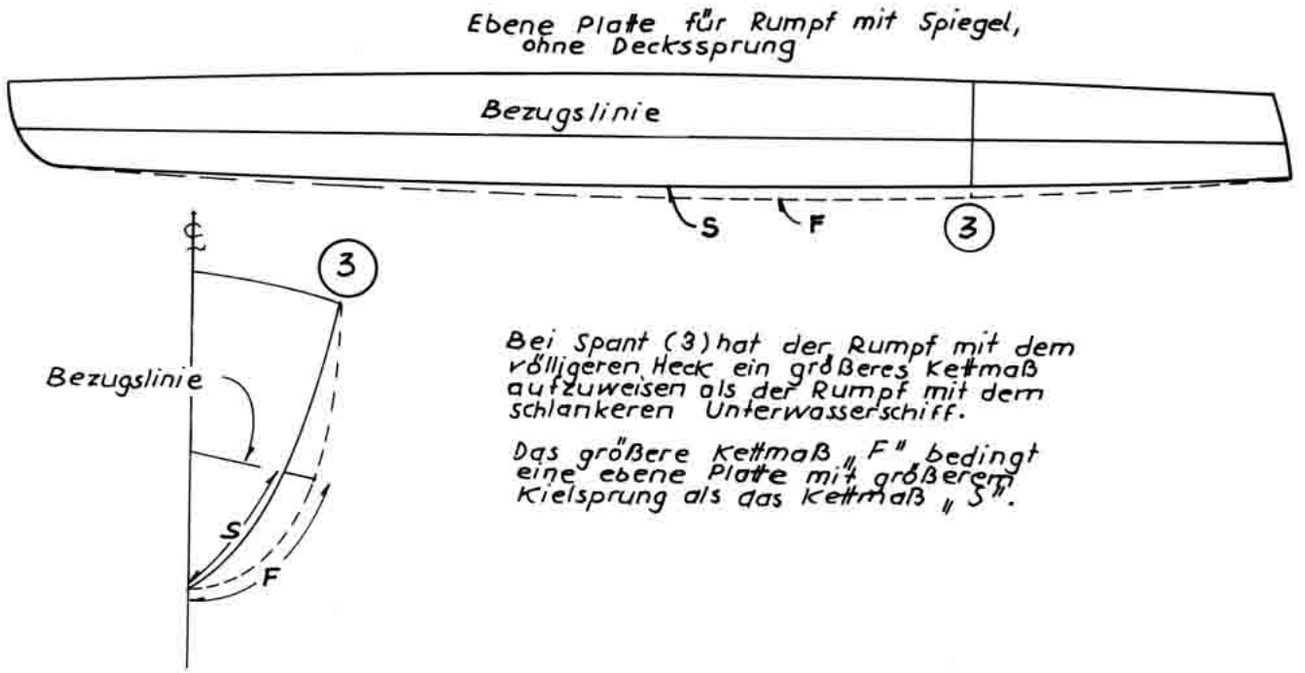

Ebene Platte für Rumpf mit Spiegel, ohne Deckssprung
Bezugslinie
S
F
3
3
Bezugslinie
S
F
Bei Spant (3) hat der Rumpf mit dem völligeren Heck ein größeres Kettmaß aufzuweisen als der Rumpf mit dem schlankeren Unterwasserschiff.
Das größere Kettmaß „F" bedingt eine ebene Platte mit größerem Kielsprung als das Kettmaß „S".

Bild 23.30 – Entwicklung des Kielsprungs bei der Abwicklung der Sperrholzplatten.

dem Seitenriß und einem einigermaßen gezeichneten Spantriß. Die Spanten im Mittel- und Achterschiff erfordern meistens eine größere Krümmung vom Sperrholz, und die Seite Deck Linie liegt am Bug höher, wo die Spanten meistens gerader sind. Um eine gerade Seite Deck Linie zu erhalten, gibt man man mittschiffs mehr Material zu, damit die Seite Deck Linie sich verändert, wie in Bild 23.31 zu sehen ist. Man bestimmt, wieviel zusätzliches Sperrholz benötigt wird, indem man entlang der vorausberechneten Rumpfseitenansicht an den Konstruktionsspanten mißt, und addiert dies in der Mittelsektion der abgewickelten Platte. Dann schneidet man die Platten für das erste Modell zu.

Bau des Modells

Das erste Modell ist normalerweise nur ein ungenauer Versuch, den gewünschten Rumpf darzustellen, und dient als Richtschnur für Verbesserungen, die man beim nächsten Modell vornehmen kann. Dieses Anfangsmodell bringt auch ein besseres

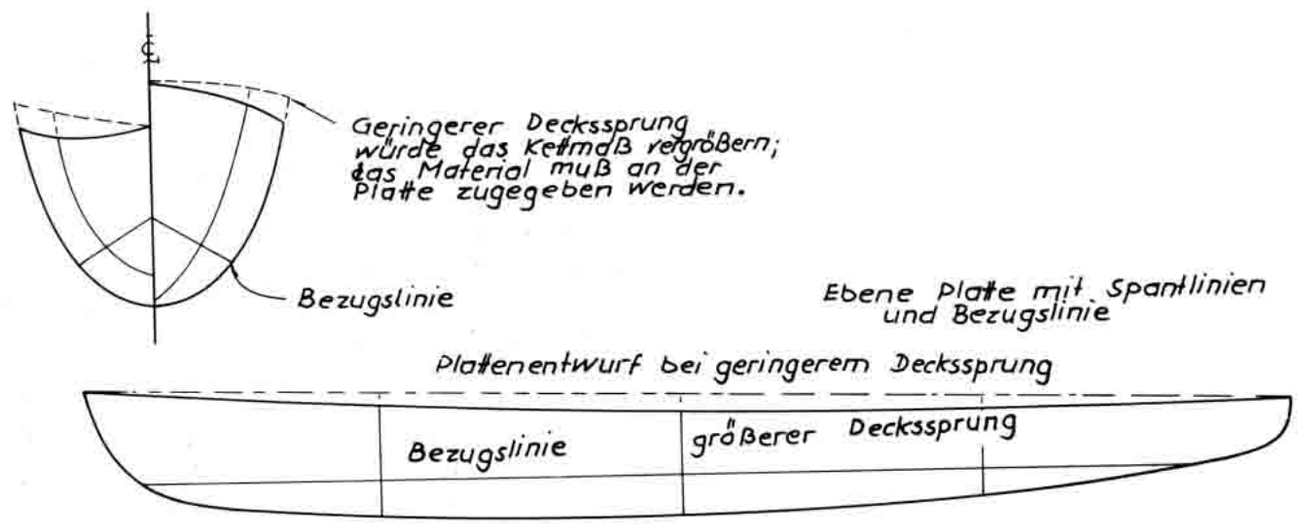

Geringerer Deckssprung würde das Kettmaß vergrößern; das Material muß an der Platte zugegeben werden.
Bezugslinie
Ebene Platte mit Spantlinien und Bezugslinie
Plattenentwurf bei geringerem Deckssprung
Bezugslinie
größerer Deckssprung

Bild 23.31 – Entwicklung der Seite-Deck-Linie bei der Abwicklung der Sperrholzplatten.

Verständnis über den Vorgang, verformte Sperrholzplatten zu entwickeln. Wir haben unsere Modelle immer in einem Maßstab von 12: 1 (Dieser „krumme“ Maßstab ist in dem amerikanischen Maßsystem begründet, das Längen in Fuß und Zoll angibt. Hier etwa ein Fuß, entsprechend zwölf Zoll, zu einem Zoll.) gebaut, da wir hier aus Erfahrung die maßstäblich richtigen Sperrholzdicken zum Bau der Modelle kennen. Wir haben die folgenden Dicken von Flugzeug-Birkensperrholz verwendet, die bei Flugzeugausrüstern zu erwerben sind. Diese Dicken scheinen überall erhältlich zu sein.

Flugzeug-Birken-Sperrholz (mm)	Zuordnung zu Platten richtiger Größe (Okoume Sperrholz) (mm)
0,8	4,03-lagig
1,0	4,83-lagig
1,2	6,43-lagig
1,5	6,45-lagig

Flugzeug-Birkensperrholz ist zwar teuer, aus einer 1,22x1,22 m-Standardplatte kann man aber viele Modelle herstellen. Mit Sicherheit sind die Modelle aber viel billiger, als am echten Boot teure und zeitraubende Fehler zu machen. Das Verhalten dieser beiden Materialien ist ziemlich maßstabsgetreu. Verschiedene andere Faktoren müssen jedoch auch maßstäblich berücksichtigt werden, wie zum Beispiel die Herstellung des Kiels und die Balkweger. Hier muß man immer bedenken, daß die am Modell gemachten Fehler sich um den Faktor 12 vergrößern, so daß es wichtig ist, alles für die Einhaltung der Genauigkeit beim Modellbau zu tun.

Man baut das Modell genauso, wie das große Boot. Zuerst bereitet man zwei identische Platten vor. Diese beiden Platten werden provisorisch miteinander verbunden, dann zeichnet man die Kiel-, Bug- und die Seite Deck Linie nach der Zeichnung auf und schneidet sie danach zu. Ihre Kanten werden beigearbeitet und man erstellt von diesen beiden Platten eine Schablone, eine dritte, identische Platte. Diese soll die Form der Platten des jetzigen Modells dokumentieren, damit man sie als Schablone für kleine Änderungen bei folgenden Modellen verwenden kann. Bei jedem neuen Modell erstellt man eine neue Schablone, so daß man die Veränderungen in den Abmessungen jeder neuen Platte deutlich erkennt.

Beim Zusammenbau der Teile ist der erste Schritt, Balkweger zu installieren. Diese müssen notwendigerweise größer als maßstabsgerecht ausfallen. Ein quadratischer Balkweger von 25 mm wäre im Modell maßstabsgerecht 2 mm stark, und das ist ein bißchen zu klein, um den wirklichen Balkweger angemessen zu repräsentieren, also würden wir den Balkweger des Modells auf ca. 5 mm vergrößern. Auf die Balkweger wird Harz aufgetragen und dann werden sie mit Federklammern oder Stecknadeln fixiert, bis das Harz ausgehärtet ist.

Die äußere Kante schrägt man wie bei dem richtigen Rumpf ab, als würde man Nylon-Gewebeband verwenden. Dann verbindet man die beiden Platten entlang der Kiellinie und am Bug mit Rohrleitungs- oder Kreppklebeband. Sorgfältig achtet man darauf, daß die Kanten perfekt ausgerichtet sind. Markierungen garantieren eine genaue Passung in Längsrichtung.

Das nächste Entwurfsstadium beschäftigt sich damit, zu bestimmen, wo und wie weit die beiden Platten aufgespreitzt werden sollen, damit der Rumpf den Vorstellungen entspricht. Wenn man einen groben Spantriß gezeichnet hat, von dem man erwartet, daß er mit dem verformten Sperrholz zu erreichen ist, kann man zunächst ihn heranziehen, um die Winkel am Kiel zu bestimmen, in dem die Platten die Kiellinie verlassen.

Die Platten stoßen in bestimmten Winkeln am Kiel zusammen. Man teilt den Rumpf in vier gleich große Teile, indem man mittschiffs und auf der Hälfte zwischen Mitte Schiff und dem vorderen und dem achteren Ende Schnitte legt. Diese drei Schnitte werden die Meßstellen für die Aufkimmungswinkel. Wenn der Rumpf einen Spiegel hat, kann man an dieser Stelle ebenfalls messen. Die Größenordnung des Aufkimmungswinkels an den bestimmten Schnitten liegt fast immer in engen Grenzen. Am vorderen Schnitt ist sie normalerweise zwischen 80 und 90°, während die Winkel in der Mitte und hinten meistens zwischen 120 und 170° betragen. Wenn der Spiegel sehr voll und flach ist, kann der Winkel am hinteren Schnitt sogar manchmal größer als 140°, und am Spiegel selbst bei bestimmten Konstruktionen sogar 180° betragen. Größere Aufkimmungswinkel ergeben eine größere Verdrängung und eine geringere benetzte Oberfläche und sind daher anzustreben.

Man ist aber durch den erreichbaren Verformungsgrad des Sperrholzes und den an die beiden Sperrholzplatten geschnittenen Kielsprung eingeschränkt. Wäre überhaupt kein Kielsprung in die Platten geschnitten, könnte man die Platten theoretisch in einem Winkel von beinahe 180° miteinan-

der verbinden und anschließend in einen richtigen Halbkreis einbiegen. Sobald die Kiellinie der Platten nicht mehr gerade ist und die Platten Kielsprung besitzen, ist der eingeschlossene 180°-Winkel nicht mehr zu erreichen und reduziert sich entsprechend im direkten Verhältnis zur Vergrößerung des Kielsprungs, die man bei den Platten verwendet. Daher existiert ein herleitbares Verhältnis zwischen diesen beiden sich widersprechenden Anforderungen an die Sperrholzaußenhaut, wenn man räumliche Krümmungen entwickelt.

Beim Modell kann man bis zum Bruch versuchen, den größten Aufkimmungswinkel zu erreichen, den man für machbar hält. Wenn die Spannungen zu groß werden, so daß die Sperrholzplatten beim Einbiegevorgang brechen, kann man beim nächsten Modell einen geringeren Winkel ausprobieren, bis man ein zufriedenstellendes Ergebnis erhält. Obwohl diese „Versuch-und-Irrtum-Methode“ etwas grobschlächtig erscheint, kennen wir keine wissenschaftlichere Methode. Zweifellos ist es nur eine Frage der Zeit, bis jemand die Verformbarkeit von Sperrholzplatten mit all ihren Verschiedenheiten computerisiert. Dies würde vermutlich den Entwurf von Booten aus verformten Sperrholzplatten auf ein gefälliges, ordentliches mathematisches Programm reduzieren. Im Moment sieht es so aus, als sei das Experimentieren der einzig gangbare Weg.

Sorgfältig markiert man die Lage von Bugschnitt, Hauptspant und Heckschnitt, wie am großen Rumpf, als Meßpunkte für die tatsächlichen Aufkimmungswinkel. Für jede Meßstelle stellt man eine kleine Sperrholzschablone des genauen gewünschten eingeschlossenen Winkels, der eine V-Form bildet, in die die Platten gespreizt werden können. Heftklammern können die V-Form provisorisch an den Platten bis zum Aushärten des Kiels fixieren.

Wie bereits erwähnt, ist die Breite des Kiels ein Faktor, der die Völligkeit des Rumpfes bestimmt. Indem das Sperrholz daran gehindert wird, sich gleich an der Kiellinie zu biegen, erzeugt ein größerer, fester Kiel eine Biegung, die erst weiter weg von der Mittellinie beginnt und so eine größere Völligkeit (und Verdrängung) des Rumpfes hervorruft. Daher trägt ein größerer Kiel zur räumlichen Verformung einer Sperrholzkonstruktion bei und muß als innere Unstimmigkeit gesehen werden, die in Konkurrenz zum eingeschlossenen Winkel und dem Kielumriß der Platten steht, wenn die räumliche Verformung der Sperrholzplatten entwickelt wird.

Bei den kleinen Modellen ist die Herstellung des Kiels der empfindlichste und schwierigste Teil beim Bau eines genauen maßstäblich übertragbaren Modellrumpfes. Damit es ganz genau wird, zieht man sorgfältig die dem Maßstab entsprechenden 50 und 100 m-Linien parallel zur Kielkante der Platten. Sorgfältig gießt man den Kiel, indem man mit einer Spritze eine Raupe (mit Zuschlagstoff NT. 409) genügend angedickten Klebers einzieht, so daß er nicht mehr läuft, sich aber noch gut mit der Spritze verarbeiten läßt. (Die Spritze wird mit dem angedickten Materüil von oben gefüllt, indem man den Kolben entfernt.) Mit den gezogenen Linien als Begrenzungslinien für die Kielbreite gießt man den Kiel in die Mitte zwischen den beiden Platten und versucht, die Raupe so gleichmäßig und gerade wie möglich zu ziehen. Man kann es schaffen, nur mit der Spritze eine exakte Harzraupe zu ziehen. Wenn aber in einem Bereich des Kiels zu viel, an anderer Stelle vielleicht zu wenig Harz ist, kann man das überflüssige Harz mit einem kleinen Stab aufnehmen und an einer anderen Stelle abgeben, um den Kiel einzuebnen, bevor das Harz auszuhärten beginnt. Hierbei ist es nützlich, das Modell fest abzustützen. Diese Aufgabe kann gewöhnlich auch von den V-förmigen Sperrholzschablonen übernommen werden, die sowieso benötigt werden, um die Platten in den geforderten Winkeln zu spreizen.

Wenn das Harz ausgehärtet ist, sollte der Kiel selbst stabil genug sein, die beiden Platten während des Einbiegens gut zusammenzuhalten. Es ist nicht notwendig, Glasfasergewebestreifen entlang des Kiels wie bei der Großausführung aufzubringen.

Das Maß, bis zu dem die Platten eingebogen werden, ist ein weiterer Faktor, der den induzierten Verformungsgrad der Sperrholzplatte beeinflußt. U-Spant-Rümpfe mit großer Völligkeit im unteren Bereich und schmalen Decks erzeugen größere Verformungsspannungen im Sperrholz, als schmalere Rümpfe mit breiteren Decks. Die Decksbreite kann in Relation zur maximalen Plattenhöhe gemessen werden. Übliche Decksbreite/Plattenhöhe-Verhältnisse liegen bei 75%. Betrüge eine Plattenhöhe beispielsweise 610 mm an der größten Stelle, läge eine normale Decksbreite ungefähr bei 460 mm. Kleinere Verhältnisse können zusätzliche Biege- und Verformungs kräfte auf das Sperrholz ausüben, die man im Vorentwurf berücksichtigen sollte, indem man andere, die Verformung fördernde Faktoren reduziert. Das Maß, in dem die Sperrholzplatten zusammengebogen werden (oder die Decksbreite), verändert den Kielsprung. Schmale Decks ergeben weniger und breite Decks mehr Kielsprung. Dieses Phänomen läßt sich leicht

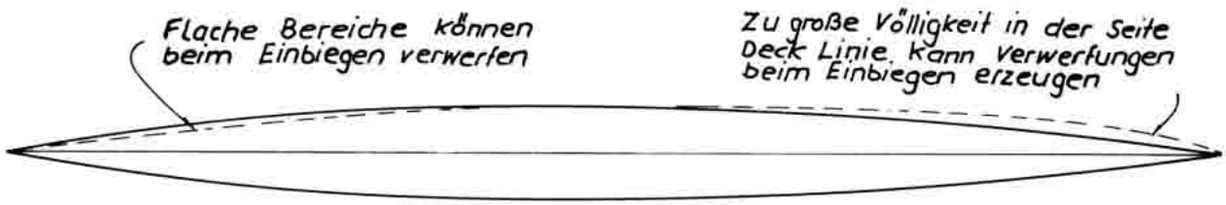

Flache Bereiche können beim Einbiegen verwerfen
Zu große Völligkeit in der Seite Deck Linie kann Verwerfungen beim Einbiegen erzeugen

Bild 23.32 – Überlegungen zum Decksplan von gefalteten Rümpfen.

nachweisen, indem man mehrere unterschiedlich breite Deckseinspannvorrichtungen für das Modell baut, und den unterschiedlichen Kielsprung bei den verschiedenen Decksbreiten mißt. Das Konzept der Verformung von Sperrholzplatten erfordert gleichmäßig strakende Kurven in allen Bereichen, einschließlich Decksumriß. Die Deckslinie sollte gefällige, fließende Linien, aber keine außergewöhnliche Völligkeit im Bugbereich oder gerade Linien haben, die Verwerfungen in den Platten bei der Verformung erzeugen können. (Siehe Bild 23.32)

Bei einer Deckseinspannvorrichtung wird zunächst nur eine Seite der Deckslinie aus dünnem Sperrholz (3 mm ist gut geeignet) ausgeschnitten, und hiervon stellt man ein Duplikat für die andere Seite her. Diese beiden Sperrholzstücke fügt man mit Querstreben am Bug und am Heck, sowie einer dritten in der Mitte endgültig zusammen. Es muß sichergestellt werden, daß das Sperrholz dick und fest genug ist, so daß sich die Vorrichtung nicht verbiegen kann, wenn man mit einer einzigen mittleren Strebe arbeitet. Dann biegt man das Sperrholzmodell in die Decksvorrichtung ein. Die Querstreben an Bug, Heck und in der Mitte dienen dabei als Anschlag für die Vorrichtung auf der Oberkante der Platten. Meistens ist es relativ einfach, das Modell von Hand einzubiegen und in die Einspannvorrichtung einzusetzen; manchmal braucht man bei diesem Vorgang jedoch die Hilfe einer weiteren Person.

Damit man die Deckseinspannvorrichtung entfernen und den Rumpf besser beurteilen kann, wird der Rumpf vollendet, indem das vorgefertigte Deck aufgeleimt wird, das den Rumpf schließlich fixiert. Für das Deck verwendet man dasselbe dünne Birkensperrholz wie für die verformten Rumpfplatten. Man schneidet zwei Teile zurecht, ein vorderes und ein achteres, die zwischen die Querstreben der Einspannvorrichtung passen. Obwohl man nicht das Deck komplett schließen kann, da die Querstreben im Weg sind, reicht die Stabilität aus, die Balkweger entsprechend zu halten, so daß der Rumpf sich nicht mehr verwirft, wenn die Einspannvorrichtung entfernt wird. Das Deck wird mit angedicktem Kleber aufgeleimt und mit kleinen Gewichten fixiert, bis der Kleber ausgehärtet ist. Damit der Kleber nicht die Einspannvorrichtung mit dem Deck oder dem Rumpf verleimt, beschichtet man die Einspannvorrichtung vorher sorgfältig mit einem Trennmittel (Paraffin ist dazu geeignet).

Sobald die Einspannvorrichtung entfernt und das Decks-Sperrholz an der Seite eingestrakt ist, hat man ein Modell, das man jetzt eingehend prüfen kann. Auf dem Rumpf müssen Wasserlinien angebracht werden, damit Verdrängungswerte berechnet werden können. Man wählt die gewünschte Wasserlinienposition sowohl am Bug als auch am Heck und stellt das Modell auf einer ebenen Fläche auf den Kopf. Dazu wird es auf Klötze gepfropft, so daß die Markierungen an Bug und Heck gleichweit von der ebenen Fläche entfernt sind. Dann nimmt man einen Klotz und einen Bleistift zum Zeichnen einer durchgehenden Wasserlinie. Das Modell muß dabei unbedingt auch seitlich parallel zu der Bezugsebene liegen. (Siehe Bild 23.33.)

Wenn die Wasserlinien dauerhaft aufgezeichnet sind, kann man den Rumpf vermessen, damit man die benötigten Daten zur Bestimmung des Auftriebsschwerpunktes und der Gesamtverdrängung bei gegebenen Tiefgängen erhält. Ebenso kann man den Längenschärfegrad und die benetzte Oberfläche ermitteln. Bezüglich nähergehender Informatio-

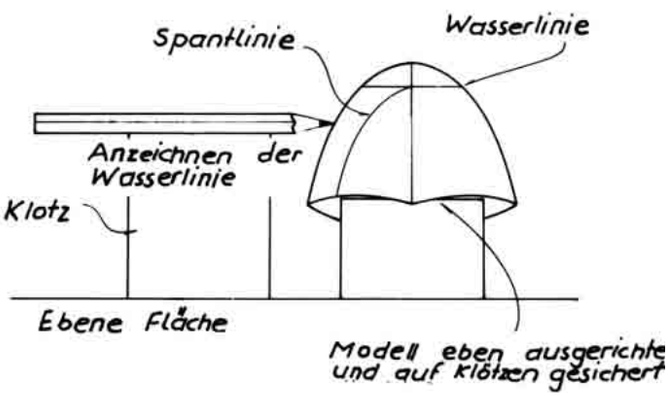


Bild 23.33 – Anzeichnen der Wasserlinien und Spantenlinien eines gefalteten Modells.

nen über die Ermittlung dieser Faktoren verweisen wir auf Kapitel 23 in *Skene's Elements of Yacht Design,* 8. Auflage, Dodd, Mead & Co.; New York, 1973. Bei diesem ersten Modell findet man sicherlich einige Bereiche, die nicht vollkommen den eigenen Wünschen entsprechen. Ziel ist es danach, zu bestimmen, welche Änderungen am nächsten Modell vorgenommen werden müssen, damit es eher der gewünschten Rumpfform entspricht. Dabei darf man nicht vergessen, daß man bestimmt Kompromisse ei.ngehen muß, weil die gewünschte Rumpfform möglicherweise mit der Bauweise nicht in Einklang zu bringen ist.

Falls man sich entscheidet, ein zweites Modell zu bauen, ist es möglich, die Veränderungen zum ersten Modell zu messen. Mit Hilfe dieser Daten kann man Ursache und Wirkung in Beziehung zueinander setzen. Je mehr Modelle man baut, umso besser versteht man den Verformungsvorgang bei Sperrholzplatten. Wir würden jedem, der ein solches Boot entwerfen möchte, raten, sich mindestens ein paar Tage mit der Entwicklung von einer Reihe von Modellen zu beschäftigen, einfach um Erfahrungen mit der Sperrholzverformungs-Bauweise zu sammeln.

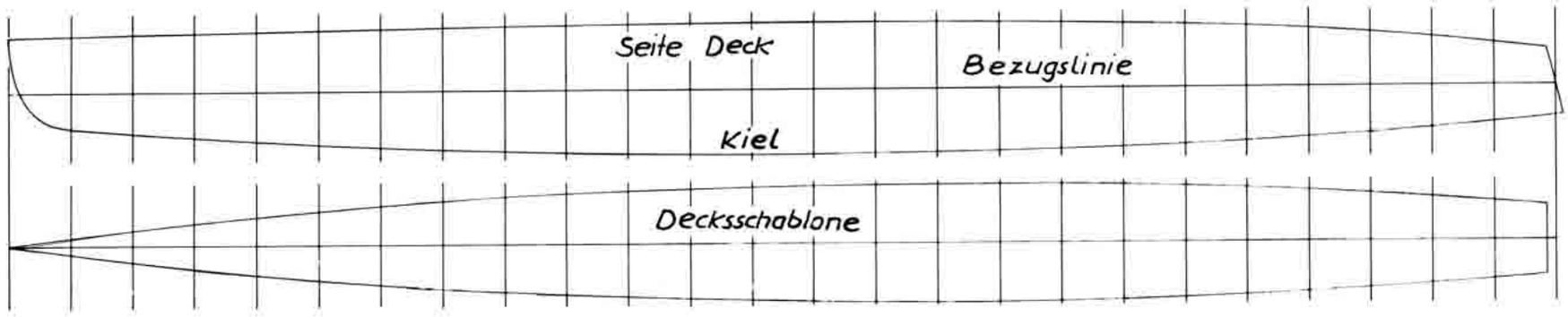
Übertragung vom Modell zur Großausführung

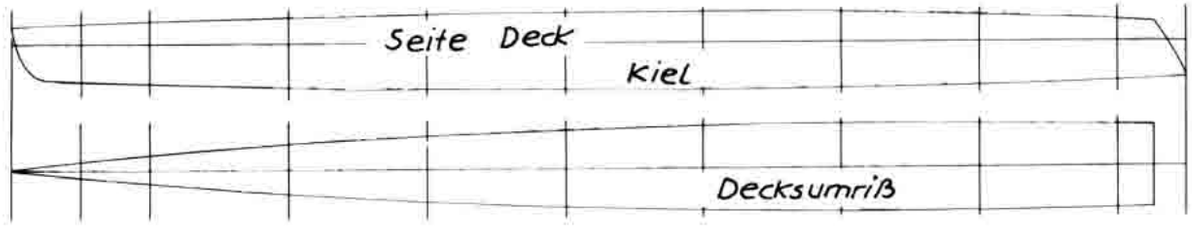
Hat man ein Modell entwickelt, mit dem man zufrieden ist, vergrößert man alle Maße von der Modellgröße auf die richtige Größe. Die wichtigsten Maße kommen von der Hauptschablone, d.h. von dem exakten Duplikat der Rumpfplatten, die bei dem erfolgreichen Modell verwendet wurden. Man legt diese Schablone, mit den angenommenen Wasserlinien so parallel zu den Linien des Papiers wie möglich, auf ein Blatt Millimeterpapier. Dann überträgt man den Umfang der Schablone, der Genauigkeit wegen mit einem feinen, gut gespitzten Bleistift, auf das Millimeterpapier. Man zieht eine Längslinie durch den ungefähren horizontalen Mittelpunkt der Platte. Dies ist die Bezugslinie für alle folgenden Messungen, und man kann parallel dazu weitere Bezugslinien einführen. (Siehe Bild 23.35.) Dann vermißt man die Kiellinie und die Seite Deck Linie, abhängig von der jeweiligen Krümmung, in 300 bis 600 mm-Abständen. Kleinere Abstände der Meßstellen ergeben bei größerem Arbeitsaufwand auch eine größere Genauigkeit. In Bereichen mit großen Änderungen, wie beispielsweise Bug oder Heck, ist es manchmal erforderlich, die Abstände auf bis zu 100 mm zu verringern, um ausreichende Genauigkeit zu gewährleisten. Danach überträgt man diese Maße auf eine große (1:1) Platte, die eine Bezugslinie für die Maße und dazu senkrechte Linien in den vorbestimmten Abständen aufweist. Damit man die größte Genauigkeit erreicht, zeichnet man die Mittellinie genau wie beim Aufschnüren mit Hilfe eines stramm gespannten Drahtes.

Die Maße werden mit großer Sorgfalt mit einem feinen Zirkel abgenommen. Mit besonderer Genauigkeit und gutem Auge liest man die Zahlen an einem Millimeter-Maßstab ab. Aufgrund der 1:12-Vergrößerung sind Fehler von plus/minus 3 mm üblich, wohingegen 6 bis 10 mm-Fehler unüblich sind. Entsprechend der üblichen Schnürbodenpraxis versucht man, die Meßwertereihe in einer gut gemittelten Kurve anzunähern. Dazu wird die Straklatte solange justiert, bis sie in einer gleichmäßig strakenden Kurve mit der geringsten Abweichung von den Meßpunkten liegt.

Ein 90° Winkel bleibt ein 90° Winkel, unabhängig von der Länge seiner Schenkel, also überträgt man die am Modell gemessenen Winkel direkt auf die Großausführung. Beim Kiel ist es jedoch anders. Dieses Teil ist am schwierigsten vom Modell auf die Großausführung zu übertragen, und die Genauigkeit hängt hier zum größten Teil vom Können des Erbauers ab. Der Unterschied zwischen einem 50 mm breiten Kiel und einem 100 mm-Kiel ist im

Bild 23.34 – Modell des in Bild 23.27 gezeigten Auslegerrumpfes. Bei diesem Modell sind Wasserlinien und Spantlinien angezeichnet.





	Spantnummer	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Haupt-Rumpf	Decksmaß über Bezugslinie	264,0	276,6	283,1	292,6	299,0	305,4	308,6	315,0	321,3	324,5	327,7	327,7	330,9	334,0			334,0	330,0	321,7	324,5	308,6	285,5	267,2	241,8	216,3	178,2
	Kielmaß unter Bezugslinie		178,2	206,8	229,1	251,3	267,2	280,0	292,7	305,4	311,8	318,1	321,3	324,5	324,5	321,3	318,1	307,0	302,2	289,5	276,8	264,0	244,9	225,9	203,6	178,2	152,7
	halbe Decksbreite	0	38,2	77,9	111,3	146,3	171,8	194,1	214,7	235,4	246,1	260,9	267,2	276,2	283,1	284,7	286,3	287,9	286,3	283,1	273,6	262,5	248,1	232,2	213,1	190,9	

Seiten-Rumpf	Decksmaß über Bezugslinie	76,4	85,9	95,4		117,7		127,3		133,6		136,8		133,6		119,3		93,8	70,0								
	Kielmaß unter Bezugslinie		162,2	171,8		187,7		194,1		200,4		200,4		197,2		187,7		114,9	162,2								
	halbe Decksbreite	0	35,0	63,6		108,2		143,2		171,8		187,7		194,1		194,1		184,5	178,2								

Bild 23.35 – Rumpf und Decksplatten von VICTOR T. Aufmaße (in mm)

Modell nur sehr gering, in der Großausführung aber entscheidend.

Die einzigen Abmessungen, die jetzt noch zu übertragen sind, damit man den Rumpf bauen kann, gehören zum Decksumfang. Diese Vergrößerung hat keine so entscheidende Bedeutung wie die Vergrößerung der Rumpfplattenmaße. Hierbei sind gut strakende Linien wichtig, nicht so sehr die Genauigkeit, da 20 mm auf, sagen wir, 500 mm keinen allzu großen Einfluß auf die Rumpfeigenschaften haben.

Glasfasergewebe auf Modellen aus verformtem Sperrholz

In den letzen Jahren haben wir damit begonnen, die Steifigkeit von verschiedenen Rümpfen aus verformten Platten entscheidend zu vergrößern, indem wir 135 oder 200 g/m^2 Glasfasergewebe an der Außenseite der Platten aufgebracht haben, bevor die Platten gebogen wurden. Wenn 5-lagiges Sperrholz mit einer Lage Glasfasergewebe beschichtet ist, wird es im Grunde mit einer 6-lagigen Platte vergleichbar.

Da dies die Steifigkeit enorm steigert, ergeben sich durch diese Variation manchmal Probleme. Wir möchten deshalb empfehlen, bevor man den Versuch mit einem großen Rumpf macht, zunächst an einem Modell zu experimentieren. Wenn das Modell dann zufriedenstellend biegt, testet man einen 600 mm langen Sperrholzabschnitt mit der gewünschten Gewebebeschichtung und biegt ihn in den stärksten am Rumpf auftretenden Krümmungen. Bereiche mit starken Krümmungen lassen sich manchmal leichter biegen, wenn man die Innenseite der Platte mit warmem Wasser anfeuchtet.

Kapitel 24

Innenausbau

Die Spannbreite der Bootsinneneinrichtungen reicht von ganz einfach bis sehr komplex. In der Tendenz haben größere Yachten die komplettere Ausstattung im Vergleich zu kleinen Booten, und Fahrtenschiffe haben eine komfortablere Einrichtung als Rennyachten. Man sagt, daß das Boot mit der perfekten Inneneinrichtung erst noch erfunden werden muß. Die jahrhundertealte Problematik, möglichst viel Komfort in einem begrenzten Raum zu verwirklichen, ist eine große Entwurfsaufgabe. Wir meinen, daß die Konstrukteure ihr Geld gerade dann verdienen, wenn sie sich mit der Gestaltung und Planung der Inneneinrichtung beschäftigen.

Wir sind zwar keine Entwurfsspezialisten, aber wir haben ganz konkrete Vorstellungen über den Innenausbau. Unser Ansatz ist vielleicht eher mit dem Ansatz aus dem Flugzeugbau verwandt, als mit dem des traditionellen Bootsbaus, da wir der Meinung sind, daß die Einrichtung in die Konstruktion integriert sein sollte. Dies kann dem Konstrukteur nämlich mehr Beweglichkeit bei der Verwendung von Material und Raum lassen. Wir hatten bei der Arbeit an der Einrichtung immer klare Ziele. Darunter spielen die Einhaltung eines Maximalgewichts, die Verwendung der Einrichtung zur Versteifung der Rumpfstruktur, die Erhöhung der Gebrauchsfähigkeit der Einrichtung und die Verbesserung der Erscheinung des Innenraums die größten Rollen.

Unglücklicherweise benötigt man für den Innenausbau der meisten Boote einen enorm großen Anteil der Arbeitszeit, die man für den gesamten Bau benötigt. Professionelle Bootsbauer kennen dieses Problem gut, und manch ein Bootsbauer hat die schmerzliche Erfahrung machen müssen, diesen Bereich eines Bootes nicht genügend beachtet zu haben. Mehr als irgend ein anderer Aspekt eines Bootes erfordert die Inneneinrichtung gute Planung und Strategie zur optimalen Verwendung von Material und Arbeitszeit. Im Laufe der Jahre haben wir ein paar simple Techniken entwickelt, die bei der Reduzierung der für den Innenaushau benötigten Arbeitszeit halfen und zugleich die Arbeit an der Inneneinrichtung erfreulicher werden ließen. Wir unterbreiten hier unsere Vorschläge, betonen jedoch, daß jeder Bootsausbau seine eigenen einzigartigen Konstruktionsprobleme hat. Sorgfältiges Überlegen, gesunder Menschenverstand und Offenheit sind gleichermaßen notwendig, um die beste Baustrategie auszuwählen.

Einhaltung eines Maximalgewichts

Bei Rennyachten hat man das Gewicht der Einbauteile schon immer besonders kritisch betrachtet. Das zusätzliche Gewicht jedes Einrichtungselements sollte selbst bei einer schweren Fahrtenyacht sorgfältig berücksichtigt werden. Die Einrichtungselemente sind meistens keine strukturellen bzw. lediglich zweitrangig strukturelle Elemente und müssen daher nicht mit den für Rumpf und Deck notwendigen Sicherheiten gebaut werden. Beim Bau mit unseren Methoden kann die Einrichtung leichter werden. Wenn man 100 oder 200 kg an der Einrichtung eines Fahrtenschiffes einsparen kann, senkt man das Rumpfgewicht und steigert die Ladekapazität für Treibstoff, Wasser und Vorräte.

Verwendung der Inneneinrichtung zur Verstärkung der Rumpfkonstruktion

Bei richtiger Planung ist es möglich, viele Einbauelemente so anzuordnen, daß sie zur Verstärkung des Rumpfes beitragen und die Außenhaut versteifen. Wenn Sitzbänke, Schapps, Schränke und Tische mit einem Rumpf verleimt werden, können sie die Festigkeit unterstützen und die Steifigkeit vergrößern, indem sie die Rumpfaußenhaut in ihrer direkten Umgebung verstärken. Dies ist dann besonders effektiv, wenn das Fahrzeug von Anfang an so konzipiert wurde, daß die Einrichtung die beste Unterstützung bietet. Die Einrichtung ist dann nicht mehr nur totes Gewicht, das vom Rumpf mitgeschleppt werden muß, sondern vielmehr in die allgemeine Konstruktion einbezogen. Indem Einrichtungsteile strukturelle Bedeutung bekommen, rentieren sie sich, zumindest teilweise, im Hinblick auf ein Festigkeits-Gewichts-Verhältnis.

Erhöhung der Gebrauchsfähigkeit der Einrichtung

Vereinheitlichter Ausbau kann den Aufwand für Wartung und Pflege der Inneneinrichtung, die so besser sauber gehalten werden kann, verringern. Die richtige Verwendung und Anordnung des Materials maximiert den brauchbaren Platz. Falls man zum Beispiel Hohlkehlen anstelle von dicken Leisten zur Montage von Einbauteilen am Rumpf verwendet, kann man auf manches platzraubende Rahmenwerk verzichten. Wenn alle Oberflächen glatt und glänzend sind, ist ihre Reinigung leichter. All dies vergrößert die Brauchbarkeit der Einrichtung.

Verbesserung des inneren Erscheinungsbildes

Wenn man Holz beim Bootsbau verwendet, kann man die verschiedenen Maserungen und Farben für eine einfache aber attraktive Ausstattung nutzen. Bei Holz muß im Gegensatz zu anderen Materialien kein Teil des Bootes hinter Leisten, Decken oder anderen Fassaden versteckt werden, wobei sie manchmal zur Abdeckung von Spanten, Rippen und Stringern angebracht sind. Durch die optimale Verwendung von verschiedenen Hölzern und Holzkombinationen kann man mit einem erstaunlich geringem zusätzlichen Aufwand schöne Resultate erzielen. Wir mögen naturlackiertes Holz, lackieren

Bild 24.1 – Sechs Kojen, Pantry und Schapps, verleimt mit der Innnenseite der Außenhaut, tragen zu einer bedeutend steiferen Struktur bei.

jedoch mitunter Oberflächen von Einbauteilen, wenn nötig, wegen größerem Kontrast, um dunkle Innenräume aufzuhellen oder zur Erleichterung der Reinhaltung.

Einbau von Inneneinrichtung in der Helling

Wie wir in vorigen Kapiteln beschrieben haben, kann man Teile der Inneneinrichtung, einschließlich Schotten, Spanten und anderer Einbauteile, in den Helgen der Längsspantbauweise und der Leistenbauweise integrieren. Andere Einrichtungselemente, wie Kojen, Schapps können ebenfalls in der Helling eingebaut und so zu konstruktiven Elementen werden. Hauptsächliche Arbeitseinsparungen entstehen dann, wenn diese Teile in dieser Phase eingebaut werden, und nicht erst, nachdem die Rumpfschale schon fertig ist. Während der Aufbauphase kann man in einer bequemen Haltung, auf dem Boden stehend, und mit relativ gutem Zugang zu allen Teilen des Rumpfes arbeiten, und die Anpassungsarbeit ist meistens viel einfacher.

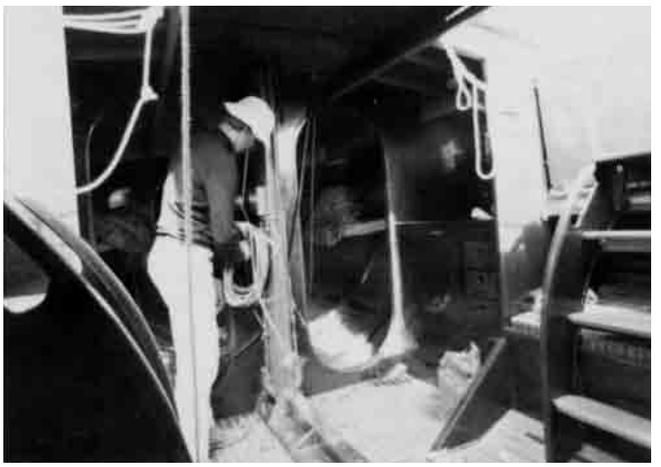


Bild 24.2 – Innenraum des in Bild 24.1 gezeigten Bootes. Man beachte den Teak-Fußboden mit Fugen aus einer weiß pigmentierten Harzmischung.

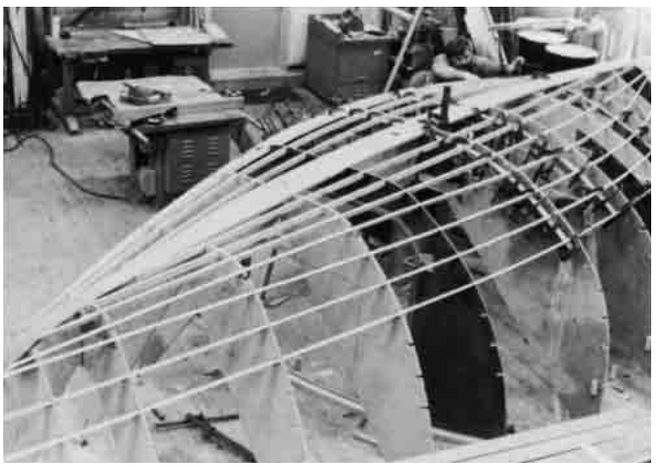


Bild 24.3 – IOR-Halbtonner-Rennyacht. In dieser Helling sind Schotten und Trennwände mit provisorischen Spanplatten-Mallen gemischt.

Eines der Ziele dieses Kapitels ist es, die Möglichkeiten und die Komplikationen aufzuzeigen, die sich aus der Wahl der verwendeten Methoden für den Innenausbau ergeben. Der Ausbaugrad, der in der Helling erreicht werden kann, hängt von der Komplexität der Helling selbst ab. Sind in der Helling zu viele Mallspanten und Stützen, hat man so viele Hindernisse, daß man schlecht beurteilen kann, ob man Zeit einsparen kann, wenn man mit dem Ausbau in der Helling beginnt. Gute Planung und großer Einfallsreichtum sind zweifellos von Anfang an notwendig, wenn man Einrichtungsteile in der Helling integrieren möchte. Wir schlagen vor, mit der Plannung schon während der Schnürbodenarbeit, wenn nicht noch früher, zu beginnen.

Teile der Inneneinrichtung müssen in einer Helling mit Maßzugaben bis zur bzw. über die Rumpfaußenhaut hinaus eingebaut werden. Später werden sie dann mit Hilfe von Straklatte und Handhobel mit dem übrigen Rumpf eingestrakt, wie man es mit Spanten, Stringern und Schotten auch macht. (Siehe Kapitel 15.)

Innenausbau in Rümpfen, die auf dem Kopf stehen

Die Arbeit am Innenausbau kann noch während ein Rumpf auf dem Kopf steht begonnen werden und relativ weit fortschreiten. Wir geben zu, daß es einige Probleme beim Ausbau von umgedrehten Rümpfen gibt – wie beispielsweise von oben nach unten zu messen – aber es gibt auch viele Vorteile.

Zunächst einmal kann die Arbeit an der Außenhaut weiter gehen, während man schon den Innenraum ausbaut. Dies ist besonders erfolgreich, wenn auf der Werft eine große Mannschaft existiert, und das Boot so schnell wie möglich fertiggestellt werden soll. Wenn man auf dem Boden arbeitet, hat man mehr Platz als im aufrecht stehenden Rumpf zur Verfügung, so daß man mehr Mitarbeiter und Maschinen einsetzen kann. Manches aufrecht stehende Boot bietet nur Platz für zwei bis drei Leute. Wenn man bei solchen Booten vom Fußboden aus arbeitet, können sich zwei bis drei Leute gut bewegen, und zusätzlich ist Platz für Maschinen vorhanden. Es ist ein weiterer Vorteil, daß man kleine Werkbänke und Maschinen, wie Bandsäge, Tellerschleifer und Hobelmaschine aufstellen kann, wodurch man sich Arbeit erspart.

Bild 24.4 – Innenausbau in einem auf dem Kopf stehenden Rumpf eines IOR-Halbtonners. Beleuchtung und Werkzeuge sind bereits aufgestellt. Man beachte die Bandsäge im Hintergrund rechts.

Wenn der Rumpf auf dem Kopf steht, spart man eine Menge Zeit, indem man das 'Rein- und 'Rausklettern vermeidet. Ein normaler Bootsbauer geht im Laufe des Tages einige Dutzend Male in den Rumpf hinein und heraus. Wenn der Rumpf dann auf dem Kopf steht, muß man lediglich unter dem Balkweger durch krabbeln , um in den Rumpf zu gelangen. (Man kann dies auch 60 cm oder mehr höher bauen, um das Hinein- und Herauskrabbeln zu erleichtern.)

Noch ein Vorteil beim Ausbauen eines Rumpfes, der auf dem Kopf steht, ergibt sich daraus, daß der Arbeitsvorgang immer sauberer ist. Hobelspäne und Sägemehl fallen auf den Fußboden anstatt in die Bilge, so daß kein ständiges Saubermachen erforderlich ist. Arbeitet man mit einem einfachen Unterstand, kann man Holzarbeiten, Geräte und Holz besser vor Umwelteinflüssen schützen.

Die Arbeit in einem auf dem Kopf stehenden Rumpf hat jedoch auch Nachteile. Da gute Beleuchtung für qualitativ hochwertige Holzarbeiten sehr wichtig ist, muß man eine Beleuchtung installieren, die womöglich nichteinmal so gut ist wie die einfache Hallenbeleuchtung. Dann ist Arbeiten über dem Kopf sehr anstrengend und hart für die Arme. Und schließlich benötigt man vielleicht Plattformen oder Gerüste, um einige Bereiche im Innern überhaupt zu erreichen.

Innenausbau in aufrecht stehenden Rümpfen

Wie bereits besprochen ist das Ein- und Aussteigen eines der größten Probleme beim Ausbau von aufrecht stehenden Rümpfen. Man sollte alles tun, um diese zeitraubende Schwierigkeit zu reduzieren. Wir versuchen immer, den Rumpf so dicht wie möglich am Boden zu halten, indem wir die Rumpfanhänge wie Ruder und Kiel erst sehr spät anbringen. Ein Unterschied von lediglich 30 cm bedeutet für den Bootsbauer jedes mal, wenn er den Rumpf betreten oder verlassen muß, 30 cm weniger hinauf-

klettern und 30 cm weniger herunterklettern zu müssen. Bei hunderten solcher Wege erspart man sich so viele zusätzliche Stunden Mühe.

Um den Zugang zum Rumpf zu erleichtern, kann man auch anders vorgehen. Bei manchen Rümpfen ist es möglich, den Spiegel offen zu lassen, damit die Mitarbeiter einen leichteren Zugang haben. Manchmal kann man ein Gerüst mit großer Bodenfläche in der Höhe des Decks errichten, worauf man hilfreiches Werkzeug und eine Werkbank aufstellen kann. In unserer Werkstatt haben wir einen Schnürboden auf einer zweiten Etage in 2,50 m Höhe über dem Boden der Werkstatt. Wir stellen die Rümpfe manchmal in der Höhe so ein, daß ihre Decks mit dem Schnürboden in einer Ebene liegen und arbeiten dann von dort aus. Falls ein Rumpf groß genug ist, kann man in ihm eine Werkstatt errichten, damit man die meisten Maschinenarbeiten vor Ort erledigen kann und nicht woanders hingehen muß.

Richtige Planung seiner Arbeit begrenzt die Anzahl der auszuführenden Wege. Indem man den nächsten zu erledigenden Vorgang sorgfältig vororganisiert kann man erkennen, welche Werkzeuge und welches Material man genau benötigt. Es ist ziemlich ärgerlich, aus dem Rumpf heraus- und wieder hineinsteigen zu müssen, wenn man seinen Bleistift vergessen hat oder gerade nicht genügend Schraubzwingen dabei hat, um eine Verleimung fertigzustellen. Sorgfältige Planung hilft, dies zu vermeiden. Man sollte die Werkstücke so weit wie möglich vorfertigen, bevor man sie zum Einbau in den Rumpf bringt.

Allgemeiner Ansatz – Tischlerei

Wir verlassen uns bei den Tischlerarbeiten auf Verbindungen, die mit WEST SYSTEM-Markenepoxidharz verleimt sind, da sie häufig stabiler und leichter als mit Verbindungs elementen herzustellen sind. Alle Verbindungen der Inneneinrichtung müssen so ausgelegt sein, daß sie die maximalen Kräfte aufnehmen können, so daß wir sie im Hinblick darauf konstruieren. Obwohl wir oft Schraubzwingen und Gewichte zum Fixieren und Andrücken der Teile bis zum Abbinden des Klebers verwenden

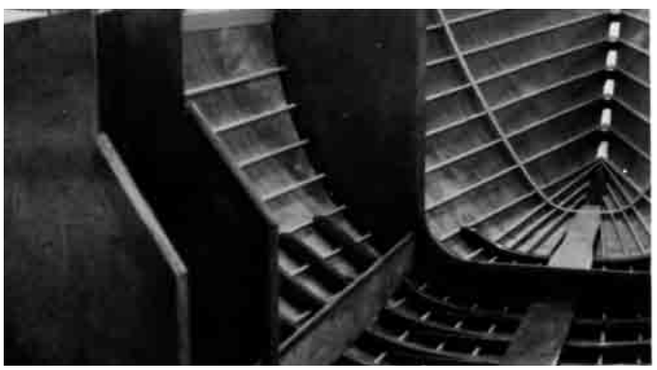


Bild 24.5 – Innenraum eines IOR-Halbtonners nach dem Umdrehen, vor Fertigstellung der Inneneinrichtung und Einbau der Beschläge und der Maschine.

Bild 24.6 – Offen gelassener Spiegel erleichtert den Zugang zum Innenraum. In die Konstruktion integrierte Bänke sind zusätzlich als luftdichte Auftriebskörper dieser leichten Sloop konzipiert.

Bild 24.7 – Pantry, Lotsenkoje Navigationsecke und Schwertkasten der ROGUE WAVE. Die Inneneinrichtung war fertiggestellt, bevor das Deck aufgebracht wurde. Die kreisförmigen Brettchen auf dem Schott sind Verstärkungsdopplungen. Man beachte die herausnehmbaren Deckel im Fußboden. Unfertiger Teak-Plichtboden links unten.

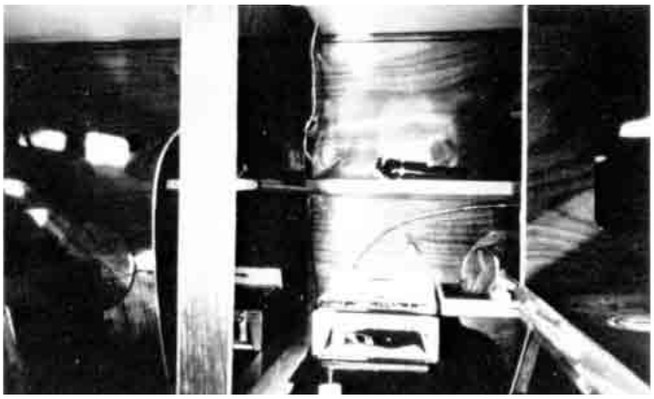


Bild 24.8 – Pantry der ROGUE WAVE, nachdem das Deck aufgebracht worden ist. Die Sandwichkonstruktion erforderte hier eine Formhaut. Diese glatte Sperrholzplatte wurde weiß lackiert, um den klarlackierten Innenraum aufzuhellen.

können, benutzen wir häufig auch Nagler mit dünnen Drahtstiften und schmalschultri ge Klammern dazu. Diese Befestigungselemente versenken wir leicht und lassen sie an Ort und Stelle; die kleinen Löcher, die sie zurücklassen, sind kaum zu entdekken, wenn sie verfüllt sind.

Oft benutzen wir auch Hohlkehl-Verbindungen bei der Inneneinrichtung, insbesondere dort, wo gekrümmte Flächen aufeinandertreffen. Hohlkehlen, genauer beschrieben im Kapitel 9, sparen eine Menge Zeit und sind in Bezug auf ihr Gewicht sehr stabil. Runde Hohlkehlen sind zudem leichter sauber zu halten. Sperrholz- und Vollholzteile können sehr schnell mit der gekrümmten Außenhaut verbunden werden, indem man sie ausrichtet und fixiert und dann eine ausreichend dimensionierte Hohlkehle beiderseits der Verbindungsstelle anbringt. Die Alternative zu Hohlkehlen ist das arbeitsaufwendige Anbringen von bearbeiteten Holzlaschen, mit denen die Teile verleimt werden, an der gekrümmten Oberfläche.

Material

Aufgrund seiner exzellenten Festigkeit und Steifigkeit bei geringem Gewicht verwenden wir häufig Sperrholz beim Innenausbau. Man benötigt viel weniger Zeit, Teile aus großen Sperrholzplatten auszuschneiden, als sie aus mehreren Vollholzstücken zusammenzusetzen. Die meisten unserer Inneneinrichtungen haben wir aus 6 bis 12 mm dickem Sperrholz hergestellt. Außer bei Schotts von größeren Booten gibt es keinen Grund dickere Platten zu verwenden; vielfach reicht 6 mm-Sperrholz aus, wenn man genügend tragendes Rahmenwerk vorsieht. Wir haben auch wesentlich dünneres Sperrholz zur Herstellung von Sandwich-Platten mit Wabenkernen verwendet.

Nirgendwo ist es so wichtig, vorbehandeltes Sperrholz zu verwenden, wie beim Bau der Inneneinrichtung. Allein die Arbeitszeitersparnis ist schon sehr viel wert, und obendrein ergibt sich meistens noch ein qualitativ höherwertigeres Finish. Wir fanden es vorteilhaft, ganze Sperrholzplatten, meistens von beiden Seiten, und nicht die Einzelteile vorzubeschichten. Man kann größere Platten einfach effizienter beschichten und viel Zeit beim Schleifen einsparen. Kleinere Teile muß man normalerweise von Hand schleifen, damit man die Beschichtung an den Kanten nicht wegschleift; größere Flächen lassen sich jedoch mühelos mit Schleifmaschinen bearbeiten. Als Nachteil ergibt sich bei solchen komplett beschichteten Platten immer ein gewisser Verschnitt an beschichtetem Material. Dies muß man jedoch mit dem Zeitgewinn vergleichen. In manchen Situationen sollte man die Teile vor dem Beschichten ausschneiden. Auf jeden Fall sollte man versuchen, die Einzelteile vor dem Einbau zu behandeln, anstatt die fertige Inneneinrichtung erst zu beschichten und zu schleifen, wenn sie schon eingebaut ist.

Beim Aussägen der Teile aus der Sperrholzplatte kann die Säge die obere Schicht der Sperrholzkanten ausreißen, wodurch häßliche Narben in der fertigen naturlackierten Oberfläche zurückbleiben. Mit einer Bandsäge wird dieses Problem auf ein Mindestmaß reduziert, da sie nach unten und mit höherer Geschwindigkeit schneidet. Die gebräuchlichere Pendelstichsäge macht da Probleme. Man kann durchsichtiges Klebeband über den Strich kleben oder den Strich mit einem scharfen Messer anritzen, um das Ausreißen der obersten Holzschicht zu verhindern. Ein scharfes, hohl geschliffenes Stichsägeblatt ist ebenfalls hilfreich, wenn keine Pendelbewegung ausgeführt wird. Im allgemeinen reißt eine beschichtete Platte jedoch nicht so stark aus, wie eine unbehandelte.

Messen

Bevor man einen fertigen Rumpf von der Helling nimmt, markieren wir immer eine wahre Wasserlinie auf der Außenseite des Rumpfes und, wenn es geht, auch an verschiedenen Stellen der Innenseite. (Wenn man die Block-Methode anwendet, muß man wohl eine angezeichnete Seite-Deck-Markierung als Bezugslinie nehmen.) Mit einer deutlich sichtbaren Wasserlinienmarkierung auf der Außenseite kann man den Rumpf umdrehen und ihn leicht nach seinen Linien

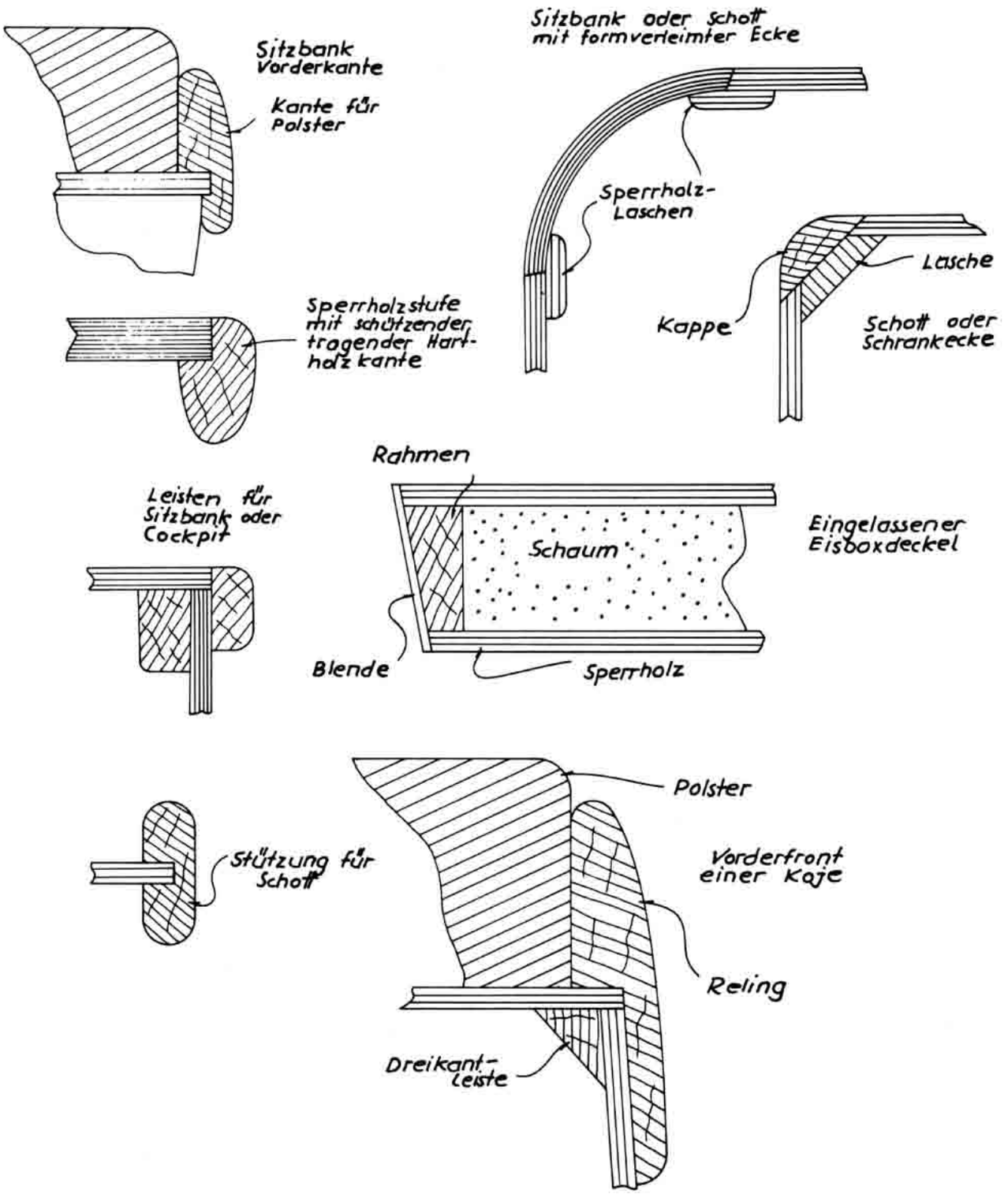


Bild 24.9 – Konstruktionsdetails beim Innenausbau. Die aUgemein verwendeten Konstruktionen sind auch im Bootsbau universell einsetzbar; sie können jedoch abgeändert werden, um die Struktur zu erleichtern ohne Festigkeit einzubüßen, da sie geklebt werden. Wir benutzen meistens Hohlkehlen und Dreikantleisten anstelle von Vierkantleisten für den Innenausbau und erhalten dieselbe Klebefläche bei geringerem Gewicht. Eckstücke für Sitze, Schotten und andere formverleimte Teile können einfach auf gebräuchlichen Objekten, wie Rohren und Fässern, geformt werden.

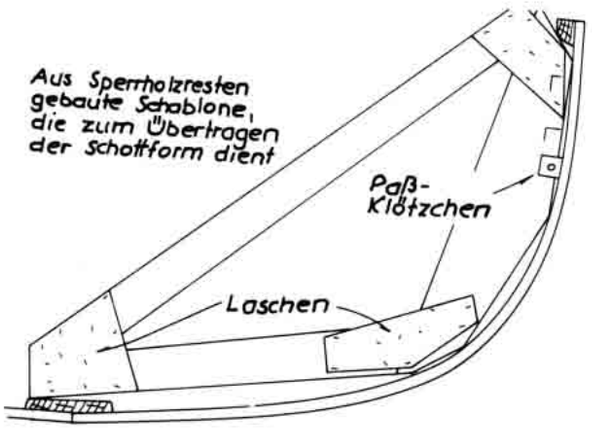


Bild 24.10 – Schablone aus Abfallholz und Sperrholzlaschen.

wieder ausrichten, so daß man mit dem Innenausbau beginnen kann.

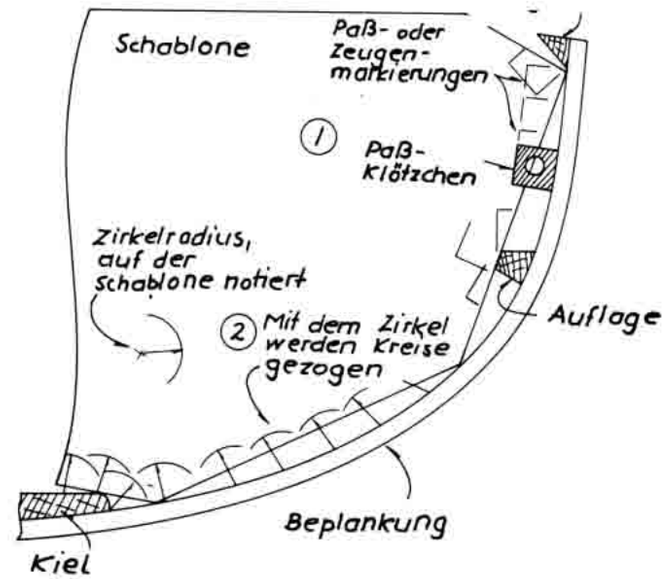
Bevor man mit dem Innenausbau anfangen kann, muß man auf jeden Fall den Rumpf entsprechend seiner Linien in Längs- und Querachse ausrichten, damit man die richtigen Maße nehmen kann. (Diese sind dann richtig, ob der Rumpf aufrecht oder verkehrtherum steht.) Wenn der Rumpf waagerecht ausgerichtet ist, kann man die Wasserwaage als Hauptinstrument zum exakten Vermessen der Lage der Einbauelemente nehmen. Kennt man die Lage der Wasserlinie im Innern des Rumpfes, kann man alle weiteren Innenmaße über oder unter dieser Bezugslinie messen. Das einzige weitere benötigte Maß ist die Entfernung nach vorne oder hinten von den jeweiligen Konstruktionsspanten.

Herstellen von Schablonen

Das Anpassen von Einbauteilen ist eine der schwierigsten Aufgaben im Bootsbau. Neben den normalen Rundungen, an die man etwas anpassen muß, hat ein typischer Innenraum eine Vielzahl von Hindernissen, wie Schotts, Kiel, Spanten oder Balkweger, um die herumgearbeitet werden muß. Die übliche Komplexität dieses Problems erfordert die Verwendung von Schablonen, um die genauen wirklichen Maße eines Bauteils bestimmen zu können. Versuche, die Teile selbst anzupassen, kosten meistens zu viel Materialverschnitt.

Jedes dünne Material, das leicht zu bearbeiten ist, kann als Schablonenmaterial verwendt werden. Oft benutzen wir Furnierreste, die wir provisorisch mit Klammern zusammenheften, um schnell eine grobe Schablone herzustellen, die bereits annähernd der gewünschten fertigen Form entspricht. Anfängliche Fehler bei der Anpassung können schnell durch Zufügungen oder Auseinander- und erneutes Zusammenbauen der Schablone für einen neuen Versuch berichtigt werden.

Die Schablone kann mit Zirkel oder Zupassungsklötzchen angezeichnet werden, wie in den Bildern 10, 11 und 17 zu erkennen ist. Manchmal kann zweimaliges Anzeichnen erforderlich sein. Nach dem ersten Markieren und Zuschneiden liegt die Schablone schon sehr dicht an, so daß das darauf folgende Markieren und Zuschneiden noch viel genauer ist. Ein Putzhobel ist dann das wichtigste Handwerkszeug, mit dem man die Schablone schließlich – hoffentlich exakt – anpaßt, aber Ziehhobel, Stecheisen und Feile werden sicherlich irgendwo auch einmal zum Einsatz gelangen.



Die Schablone wird auf die Sperrholzplatte gelegt, aus der das Schott gefertigt werden soll. Das Passklötzchen wird dann an seinen ursprünglichen Markierungen angelegt und seine Außenkante, die die Lage der Innenseite der Außenhaut repräsentiert, auf der Sperrholzplatte angerissen.
Man nimmt den voreingestellten Zirkel und schlägt von den Markierungen auf der Schablone aus Kreise. Die Schnittpunkte der Kreisbögen markieren die Innenfläche der Beplankung.

Bild 24.11 – Zwei Methoden zum Einpassen eines Schotts.

Manchmal paßt eine Schablone bereits sehr gut, läßt jedoch lediglich noch ein paar Spalte offen. Diese Spalte korrigiert man, indem zusätzliches Schablonenmaterial angeheftet wird, womit die Lücken gedichtet werden können, oder man markiert die Lücken auf der Schablone, so daß die Unterschiede auf das eigentliche Teil übertragen werden. Sobald die Schablone fertig ist, legt man sie zum Anzeichnen auf das zu bearbeitende Holz. Dann überträgt man die Schablonenmaße sorgfältig, indem man exakte Striche zieht.

Es ist einfacher, weniger komplexe Elemente gleich am Rumpf anzupassen. Direktes Anpassen ist besonders effektiv, wenn man die Teile zunächst auf dem Schnürboden grob zuschneidet, bevor sie endgültug eingepaßt werden. Manche Bootsbauer verlassen sich sehr stark auf die Schnürbodenarbeit und sind in der Lage, Einbauteile so genau vorzufertigen, daß sie nur noch wenig beiarbeiten müssen.

Ebenso ist es möglich, die Einbauelemente außerhalb des Rumpfes, wo man effektiver arbeiten kann, zu bearbeiten und erst dann einzubauen, wenn sie bereits fertig bearbeitet sind. So kann man eine Menge Zeit sparen; bei komplexeren Arbeiten wird das Messen manchmal so schwierig, daß die Zeiteinsparungen wieder aufgehoben werden. In der Regel fertigt man die Teile, die leicht an gerade oder einfach gekrümmte Oberflächen anzupassen sind, oder frei stehen wie Tische, außerhalb des Rumpfes und baut sie danach ein.

Schotts und Trennwände

Schotts werden als strukturelle Elemente des Rumpfes angesehen; in manchen Booten, in denen sie als Abtrennung von verschiedenen Räumen dienen, sind sie jedoch ebenso Funktionselemente der Inneneinrichtung. Da sie meistens strukturelle Beiträge liefern, sind Schotts häufig von sehr gut durchdachter Bauweise. Sie werden typischerweise so mit dem Rumpf verklebt, daß sie bedeutende Kräfte auf die Außenhaut übertragen können.

Damit die Schotts zu Trennwänden werden, müssen sie lediglich ein paar Zierleisten um offene Kanten, wie sie z.B. in Durchgängen entstehen, erhalten. Diese Zierleisten verbessern das Aussehen und machen die Schotts sicherer als mit scharfen Sperrholzkanten. Im allgemeinen haben Schotts immer gerundete Ecken, da scharfe Ecken zu großen Spannungskonzentrationen führen. Schotts werden theoretisch durch Ausschnitte geschwächt, so daß wir oft auf Zierleisten zurückgreifen, um den geschwächten Bereich zu verstärken und zu versteifen. Wenn wir sogenannte *strukturelle Zierleisten* bauen, lamellieren wir Bögen und runde Ecke, anstatt sie aus Vollholz auszuschneiden. Bei strukturellen Zierleisten schäfen wir die Verbindungen jedesmal, wobei Zierleisten im Standardfall Stoßverbindungen aufweisen.

Um eine gewisse Privatsphäre zu gewährleisten, kann der Konstrukteur eine Tür in einem Schott spezifizieren. Mit kleinen Veränderungen in der Konstruktion der Zierleisten kann man ein angemessenes Türzargensystem in dem Schottdurchstieg einbauen. Dies hinterläßt aber das Problem, eine Tür zu bauen, die genau in diesen Rahmen paßt.

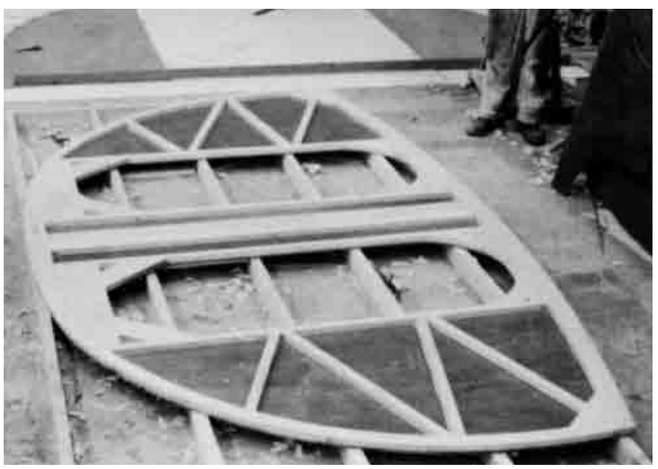


Bild 24.12 – Konstruktives Hauptschott von GOLDEN DAZY bestand aus einem Rahmenwerk zwischen zwei 12 mm dicken Gebrauchs-Sperrholzplatten.

Bild 24.13 – Schott mit lamellierter Hartholzabdeckung im Durchgang.

Bild 24.14 – Öffnung in einem Konstruktionsschott der ROGUE WAVE. Der Schwertkasten rechts wurde an das Schott geklebt.

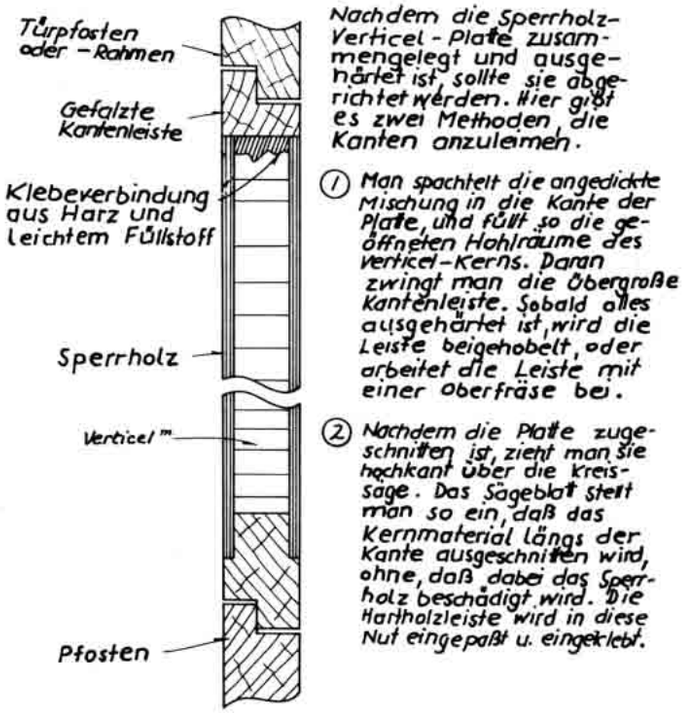

Türpfosten oder -Rahmen
Gefalzte Kantenleiste
Klebeverbindung aus Harz und leichtem Füllstoff
Sperrholz
Verticel ™
Pfosten
Nachdem die Sperrholz-Verticel-Platte zusammengelegt und ausgehärtet ist, sollte sie abgerichtet werden. Hier gibt es zwei Methoden, die Kanten anzuleimen.
① Man spachtelt die angedickte Mischung in die Kante der Platte, und füllt so die geöffneten Hohlräume des Verticel-Kerns. Daran zwingt man die übergroße Kantenleiste. Sobald alles ausgehärtet ist, wird die Leiste beigehobelt, oder arbeitet die Leiste mit einer Oberfräse bei.
② Nachdem die Platte zugeschnitten ist, zieht man sie hochkant über die Kreissäge. Das Sägeblatt stellt man so ein, daß das Kernmaterial längs der Kante ausgeschnitten wird, ohne, daß dabei das Sperrholz beschädigt wird. Die Hartholzleiste wird in diese Nut eingepaßt u. eingeklebt.

Bild 24.15 – Schnitt durch eine Tür. Man sieht den Kern, die Außenschichten und zwei Methoden zur Verleimung der Kantenleisten.

Dabei besteht die größte Schwierigkeit darin, leichte Türen zu bauen, die völlig eben bleiben. Eine 6 mm dicke Sperrholztür , die am Anfang völlig eben ist, wird wahrscheinlich nicht ewig so bleiben. Wie die Türen, die im Hausbau verwendet werden, bestehen die erfolgreichsten Türen im Yachtbau aus zwei dünnen, verleimten Sperrholzplatten mit einer dazwischenliegenden Kernschicht. Diese Türen sind leicht, haltbar und sehr stabil, mit guter Aussicht, ihre Maße zu halten. (Siehe Kapitel 9 über Verleimung bezüglich detaillierter Beschreibung der Verleimung von Kernmaterial.)

Trennwände, die als Sichtblende dienen, sind grundsätzlich nicht strukturell wichtig. Sie müssen lediglich stabil genug sein, daß sie die Widrigkeiten von hartem Segeln überstehen; meistens ist 10 mm starkes Sperrholz angemessen. Wir haben auch 6 mm-Sperrholz erfolgreich eingesetzt, manchmal allerdings mit leichten Versteifungen um die allgemeine Steifigkeit zu verbessern. Bei größeren Abtrennungen wählt man vielleicht eher die Sandwich-Bauweise, wie sie im Kapitel 9 beschrieben ist. Die Sandwich-Bauweise spart Gewicht ein und ergibt steife Trennwände mit einer besseren Lärmdämmung als sie mit einer einzelnen Platte möglich wäre.

Bild 24.16 – Pantry auf einem 9,10 m-Trimaran mit vorderem Schott und Hängeschrank rechts unten.

Kajütboden

Das erste Teil, das eingebaut werden muß, ist der Kajütboden, oder der Fußboden, der begangen wird. Im allgemeinen verwendet man Sperrholz von 10 bis 12 mm Dicke mit gut tragendem Rahmenwerk darunter. Die meisten Konstrukteure bemühen sich, den Fußboden so tief es geht in die Bilge zu legen, um eine möglichst große Stehhöhe zu erreichen. In manchen Fällen ergeben sich dann aufgrund des Raummangels frustrierende bauliche Probleme. Wir fanden, daß das dauerhafte Verleimen eines Teils des Bodens mit dem Rumpf bei der Verlegung des Bodens an einem möglichst tiefen Punkt innerhalb der Vertiefung des Rumpfes half.

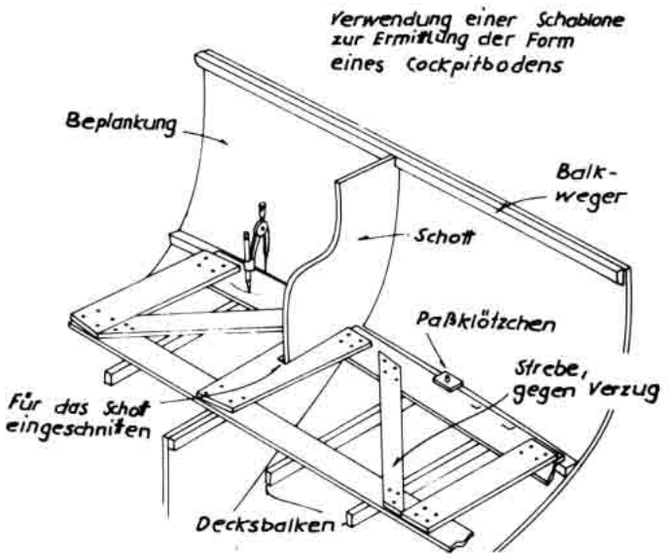


Bild 24.17 – Einpassen der Form eines Cockpitbodens.

Ein fester Boden besitzt zudem ein großes Potential, die gesamte Steifigkeit und Festigkeit des Rumpfes strukturell zu verbessern.

Es liegt auf der Hand, daß Teile des Bodens zu entfernen sein müssen, damit man vollständigen Zugang zur Bilge erhält. Diese Zugänglichkeit ist sowohl zum Reinigen, als auch zur Reparatur von möglichen Schäden wichtig. Als einfachste Richtlinie gilt, daß man mit ausgestrecktem Arm jede Stelle der Bilge erreichen können muß, wenn man alle Fußbodenöffnungen berücksichtigt. Bei schmalen, tiefen Rümpfen muß lediglich ein geringer Prozentsatz des Bodens zu öffnen sein. (Siehe Bild 20.) Breite, flache Rümpfe aber, können manchmal die Herausnehmbarkeit eines erheblichen Teils des Bodens erforderlich machen, damit die Bilge angemessen zugänglich ist.

Bild 24.18 – Einbau des Rahmenwerks des Kajütbodens der ROGUE WAVE. Die Konstruktion stützt sowohl die Außenhaut als auch den Fußboden.

Wir meinen, daß ein Boden so vollständig und in sich geschlossen sein sollte, daß er den allgemeinen Schmutz aus der Bilge fernhält. Schmutz ist nicht nur schwierig aus der Bilge zu entfernen, sondern setzt sich besonders gern in Lenzpumpen fest. Dies ist im günstigsten Fall ärgerlich, im schlimmsten Fall jedoch sehr gefährlich. Die herausnehmbaren Bodenbretter sollten gut passen und mit vernünftigen Festhaltesystemen versehen sein, um sie bündig

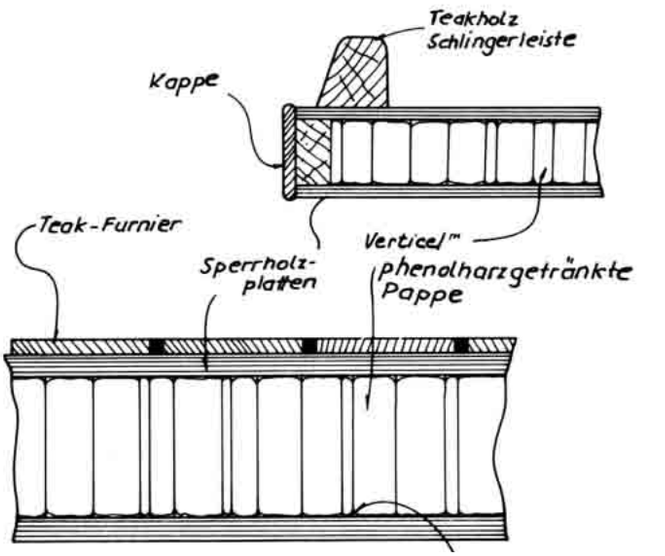


Bild 24.19 – Schnitte durch Arbeitsplatte der Pantry und Kajütboden mit Sandwichkonstruktion.

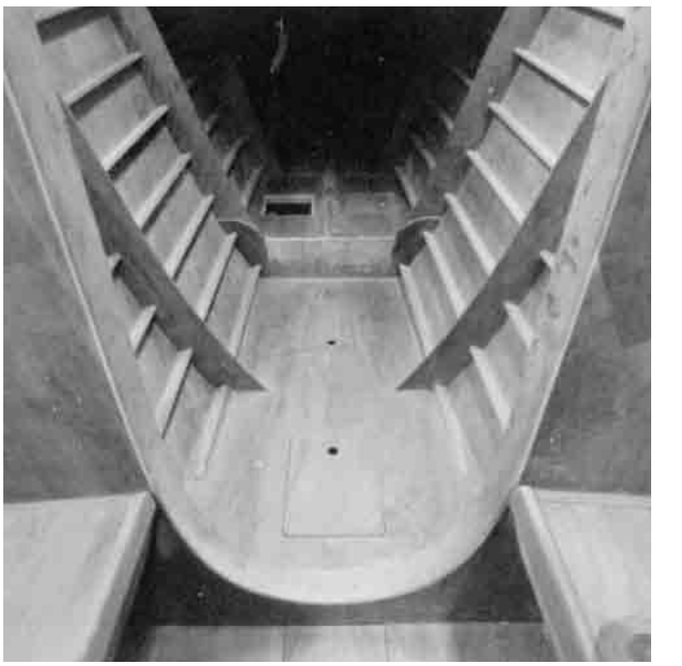


Bild 24.20 – Fußboden im Vorpiek mit herausnehmbaren Deckeln.

an Ort und Stelle zu halten – das begünstigt auch die Reinhaltung des Bodens. Man sollte mindestens einen Spalt von 1,5 mm zwischen sämtlichen Kanten einhalten; bei außergewöhnlich großen Platten sollte man die Spalte wohl noch vergrößern.

Die Bilge ist der Bereich des Bootes, wo sich die meiste Nässe sammelt, so daß man alle Oberflächen besonders sorgfältig beschichtet, um optimalen Schutz zu erhalten. Wir empfehlen weiterhin, dem Bilgen-Bereich immer eine klare Endbehandlung zu geben – nie farbig – damit man möglicherweise entstandene Feuchtigkeitslecks einfach erkennen kann, indem man beobachtet, ob sich das Holz dunkel verfärbt. Ein gut konstruiert und gebautes Boot sollte eigentlich eine trockene Bilge haben. Der einzige Weg, auf dem Nässe oder Wasser nach unten gelangen darf, sollte durch offene Luken und Klappen führen, durch die nasse Segel oder Leute in Regenkleidung nach unten kommen. Wie jeder andere Teil der Inneneinrichtung sollte auch die Bilge gut belüftet werden, wozu man Öffnungen in Bereichen vorsieht, die zwar den Luftstrom, aber weder Schmutz noch Dreck in die Bilge lassen.

Bau von Eisboxen

Wir haben viele gute Eisboxen mit 6 mm-Sperrholz und leichtem geschlossenzelligem Polyurethanschaum als Isoliermaterial gebaut. Normalerweise konstruieren wir den Innenraum der Kühlbox so, daß sich der maximale Nutzraum bei den gegebenen Raumverhältnissen ergibt und für die Isolierung mindestens 50 mm Platz bleibt. In den meisten Fällen sind 50 mm Isolierung ausreichend, von weniger würden wir allerdings abraten. Bei einer Gelegenheit haben wir sogar 100 mm dicken Polyurethanschaum für die Isolierung verwendet, um die maximale Kühlung zu gewährleisten.

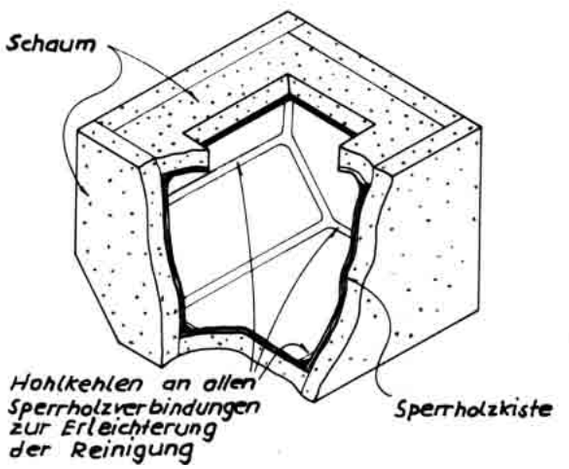


Bild 24.21 – Schnittansicht der Innenkonstruktion einer Eisbox.

Zunächst baut man den inneren Kasten. Da es eines der wichtigsten Ziele ist, eine Kiste mit glattem, gerundetem Innenraum ohne scharfe, schwer zu reinigende Ecken zu bauen, benutzen wir gerne große Hohlkehlen mit leichtem Füllstoff als Verbindung in den Ecken zwischen Boden und Seitenteilen. Die Öffnung der Kiste wird effektiverweise in die obere Platte integriert, wobei sie so klein gehalten wird wie es gerade noch für guten Zugang praktikabel ist. Wenn der innere Kasten fertig ist, aber noch bevor die obere Platte montiert wird, trägt man an den Innenflächen mindestens vier Beschichtungsanstriche WEST SYSTEM Epoxidharz auf. Oftmals beschichten wir die Innenseite der besseren Kratzfestigkeit wegen zusätzlich mit 200 g/m^2-Glasfasergewebe. Der letzten Harzschicht mischt man weiße Pigmente bei, die später das Reinigen erleichtern: das Weiß läßt leicht erkennen, ob die Kühlbox sauber ist. Die dritte Schicht wird anständig geschliffen, damit die vierte Schicht ganz glatt wird. Sobald die Innenseite und die Unterseite der oberen Platte der Kühlkiste fertig beschichtet sind, werden sie montiert.

Um den Rand der Öffnung baut man einen Kragen. Dieser sollte mindestens die Höhe des Isolierungsmaterials haben. Damit er mit Sicherheit genügend Klebefläche hat, fertigt man den Kragen aus 12 mm oder dickerem Schnittholz oder Sperrholz. Die Außenseite der Kiste bekommt nun einen Harz-Sättigungsanstrich, den man so weit aushärten läßt, daß er noch klebrig ist, bevor die vorgeschnittenen Schaumstücke aufgeleimt werden. Dann nimmt man eine dicke Mischung aus Harz und leichtem Füllstoff, um die Isolierung sorgfältig aufzuleimen, wobei lediglich die obere Öffnung nicht abgedeckt wird. Eine genügend dicke Klebstoffmischung verhält sich wie Kontaktkleber , indem sie den Schaum ohne Schraubzwingen fixiert. Wenn Probleme auftauchen, nimmt man Tape oder Leinen zu Hilfe.

Sobald der innere Kasten fertig ist, legt nan ihn auf eine vorgefertigte Grundplatte, die ihn auf der richtigen Höhe halten wird. Mit derselben dicken Mischung leimt man den Schaum der Unterseite der inneren Kiste auf die Grundplatte. Dann leimt man auch die Vorder-und Seitenplatten auf den Schaum. Obwohl die Platten den Schaum nicht vollständig berühren müssen, wäre es ideal, wenn dies trotzdem der Fall wäre.

Falls die Kiste an der Rumpfwand liegt, läßt man einen Spalt zwischen Schaum und Außenhaut, und versucht nicht, die Teile dicht anliegen zu lassen.

Diese Art erfordert weniger Anpassungsarbeit und ist daher einfacher; Der Kontakt zwischen Schaum und Außenhaut hätte keinen besonderen konstruktiven Sinn. Den Deckel der Eisbox baut man mit genauso dickem Schaum wie die übrige Isolierung und beklebt die Innen-und Außenseite mit Sperrholz von der gleichen Dicke wie die Innen- und Außenhaut der Kiste. Wenn der Deckel paßt, bringt man am Umfang der Box eine Lippe an und montiert einen Griff, um die Eisbox zu vollenden.

Tanks

Mit WEST SYSTEM Epoxid beschichtete hölzerne Vorratstanks sind schon sehr erfolgreich gewesen; hauptsächlich deshalb, weil sie billig und einfach zu bauen sind. Man kann Tanks in der genauen Größe und Form bauen, wie man sie benötigt, und erspart sich die zusätzliche Zeit für die Anfertigung der Zeichnungen für den Metalltank-Hersteller. Obwohl es genügend Gründe für den dauerhaften Einbau von Tanks gibt, ziehen wir es vor, sie als eigenständige, normalerweise herausnehmbare Einheiten zu fertigen, so daß wir die Tanks bei Beschädigung des Rumpfes entfernen können, um ihn zu reparieren.

Der Vorgang beim Bau der Innenseite eines Tanks ist dem für die Innenseite einer Eisbox ähnlich,nur daß man an den Außenecken Schraubzwingen zur Montage der Sperrholzplatten ansetzen kann. Eine Entlüftung ist erforderlich, damit sich kein Gasdruck aufbauen kann. Es sollten Zwischenwände eingezogen werden, damit der sonst auftretende Schlingereffekt der Flüssigkeit gedämpft, und die Konstruktion verstärkt wird. Ihre Anzahl und Größe ist proportional zur Größe des Tanks. Ein typischer 150 l-Tank hat zwei oder drei Zwischenwände von ca. drei Fünftel der Querschnittsfläche.

Bild 24.22 – 150-Liter-Tank der ROGUE WAVE, mit Hohlkehlen und Glasfaserstreifen an allen inneren Verbindungen. Der Deckel dieses Tanks ist ein Teil des Kajütbodens; der Tank ist abnehmbar. Die Stege haben Ausschnitte an der oberen Kante, damit alle Abteilungen entlüftet werden. Die 10 mm-Einschnitte an den Unterseiten der Ausschnitte sind für Sperrholz-Längsspanten zur Stützung des Deckels vorgesehen.

Man baut den Tank in zwei Hälften, dem Hauptkasten, mit oder ohne Zwischenwänden, und dem Deckel. Um den Raum zu vergrößern, kann man gekrümmte Seitenplatten aus Sperrholz oder Furnier formen, die der Rumpfform entsprechen, und den Tank dann mit Standard-Sperrholzplatten vervollständigen. Abhängig von Form, Größe und dem gegebenen Versteifungs grad ist vermutlich 6 mm-Sperrholz für die meisten Tanks bis zu 150 Liter stark genug. Die Sperrholzdicke für Tanks wird hauptsächlich vom Gewicht je ungestützte Flächeneinheit bestimmt. Versteifungen für 6 mm dickes Sperrholz sollten bei einem angenommenen Flächengewicht von 145kg/m^2 nicht weiter als 300 mm auseinander liegen.

Vorrattanks müssen von Zeit zu Zeit gereinigt werden, also integrieren wir immer einen abnehmbaren Deckel in der Mitte, damit der Zugang zu allen Teilen des Tanks gewährleistet ist. Die Innenseite des Tanks wird dick mit Harz eingestrichen und mit einem 200 g/m^2-Glasfasergewebe beschichtet. Dabei soll man versuchen, die Innenseite so glatt wie möglich zu bekommen, damit die Reinigung erleichtert wird.

In derselben allgemeinen Tankbauweise haben wir Brennstoff tanks gebaut. Soweit sind sie sehr erfolgreich. Wir sind jedoch der Auffassung, daß wir noch nicht genügend Erfahrung damit haben, als daß wir sie uneingeschränkt empfehlen könnten. WEST SYSTEM Epoxidharz ist gegen Benzin und Dieselöl beständig, so daß es von daher offensichtlich keine Probleme gibt. Unsere Hauptbedenken betreffen die Sicherheit bei Feuer. Hölzerne Tanks können brennen, aber Stahltanks sind ebenfalls problematisch. Stahltanks können den reinen Brennstoff (oder Gase) vor offenen Flammen schützen, aber sie halten nicht die Wärme ab, und das ist ein fast ebenso großes Problem wie offene Flammen. Benzin entzündet sich plötzlich bei ca. 480°C, bei viel niedrigeren Temperaturen wird jedoch das Gas so stark ausgedehnt, daß Tanks aufgrund des erhöhten Drucks versagen können. Beim Kampf gegen Wärme (d.h. der Fähigkeit, den Brennstoff so kühl wie möglich zu halten), besitzen Holztanks wegen der dem Holz eigenen Isolierfähigkeit ein

Bild 24.23 – Diesel-Kraftstofftank der ROGUE WAVE. Der Cockpitboden bildet den Deckel.

größeres Sicherheitspotential als Stahltanks. Um das Feuerrisiko zu verringern, kann man die Tanks aus dicken Wänden bauen, die nicht so schnell durchbrennen können, und zusätzlichen Schutz durch einen, mit dem feuerhemmenden Füllstoff Nr. 421 angereicherten, Harzanstrich aufbringen. Die dickeren Wände bieten darüberhinaus größere Wärmeisolation und besondere Festigkeit mit ausgezeichneter Durchschlagfestigkeit.

Wir wiederholen, daß wir nur begrenzte Erfahrungen mit hölzernen Brennstoff tanks haben. Bisher sind weder ernsthafte Versuchsprogramme begonnen worden, noch Sicherheitsstandards aufgestellt worden. Wir sind aber der Meinung, daß die Verwendung von hölzernen Tanks noch sehr weit ausbaufähig ist.

Fenster und Luken

Fenster bedeuten Licht, und in vielen Fällen einen Teil der erforderlichen Belüftung des Innenraums. Luken oder Fenster, die. sich öffnen lassen, aber auch wasserdicht verschlossen werden können, sind schwer selbst herzustellen. Die Preise von industriell gefertigten Luken sind wohl gerechtfertigt, so daß man diese Teile am besten kauft. Traditionell werden diese Elemente zwar aus Bronze oder Aluminium hergestellt, in der letzten Zeit sind aber auch exzellente Plastikfenster auf den Markt gekommen, . die anscheinend von hoher Qualität sind. Einige dieser Plastikluken weisen einzigartige Konstruktionsmerkmale auf, und wir haben sie auf den teuersten Booten eingebaut.

Man kann nicht zu öffnende Fenster, die nur Licht durchlassen, leicht bei niedrigen Kosten selber bauen. Dazu kann man normales Plexiglas™ benutzen, aber wir empfehlen insbesondere die Verwendung von Lexan™, da es härter und kratzfester und viel stabiler als Plexiglas ist. Art und Dicke des Fenstermaterials wählt man in der Festigkeit vergleichbar mit der zu ersetzenden Kajütseitenwand oder dem Rumpfbereich.

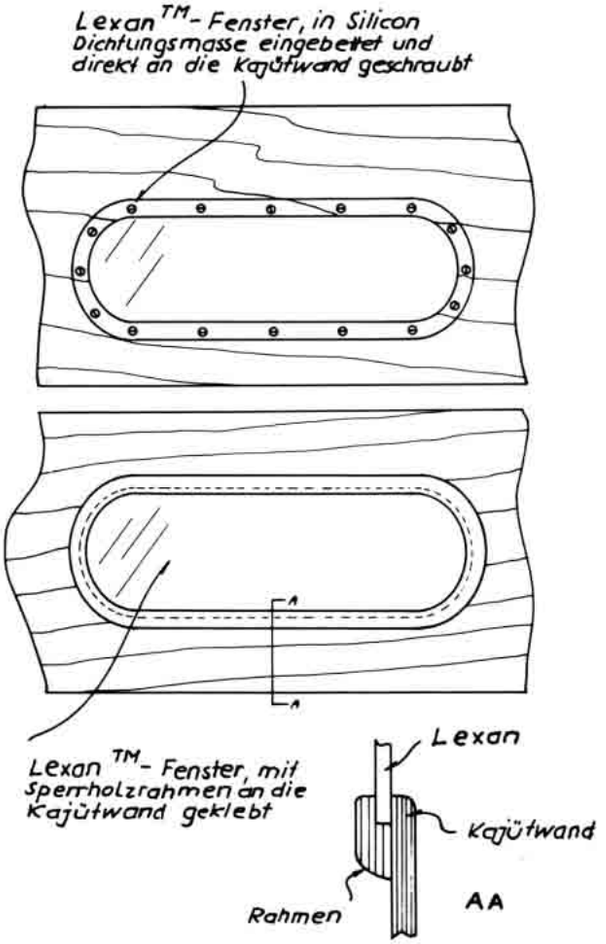

Lexan™- Fenster, in Silicon Dichtungsmasse eingebettet und direkt an die Kajütwand geschraubt
Lexan™- Fenster, mit Sperrholzrahmen an die Kajütwand geklebt
Lexan
Kajütwand
Rahmen
AA

Bild 24.24 – Nicht zu öffnende Fenster.

Zum Einbau von Fenstern, wie in Bild 24.24 oben, bohrt man versenkte Löcher und schraubt bzw. bolzt das Lexan oder Plexiglas an die Kajütseitenwand. Die Fenster können sowohl an der Innenwie an der Außenfläche angebaut werden. Wir bevorzugen im allgemeinen die Innenfläche, da die Fenster dann besser aussehen, aber die Innenmontage ist potentiell schwächer, so daß die Kajütwand dicker sein muß, um genügend Haltekraft für die Befestigungselemente aufbringen zu können. Falls sie nicht dick genug ist, muß der Bereich um den Fensterausschnitt zusätzlich mit Holz verstärkt werden.

Plastikglas wird mit einer selbstklebenden Schutzfolie geliefert. Diesen Schutz läßt man so-

lange auf dem Fenster, bis es eingebaut worden ist. Das Fenster wird auf der Folie angezeichnet – es soll die Kajütwand ca. 25 mm überlappen – und mit Band- oder Stichsäge ausgeschnitten, die Kanten mit der Feile gebrochen und die äußeren Ecken des Fensters abgerundet. Die Löcher für die Befestigungselemente werden gebohrt und das Fenster schließlich eingebaut. Kurz bevor das Fenster montiert wird, zieht man die Schutzfolie von dem Teil des Plastiks ab, das die Kajütwand berührt. Dieser Bereich wird mit Schleifpapier aufgerauht und das Fenster in Silikongummi eingebettet, von dem sämtliche Überschüsse sorgfältig entfernt werden. Dann werden selbstschneidende Schrauben oder, wenn Durchbolzen erforderlich ist, Maschinenschrauben eingesetzt. Die Zahl der Befestigungselemente wird entsprechend der angenommenen Belastung gewählt. Wenn man außerhalb der Küste segeln wird, sollte die Verbindung zwischen Fenster und Kajütwand so fest wie die Kajütwand selbst sein. Wenn man im Innenraum Licht braucht, kann man die Folie schon abziehen; es ist aber manchmal besser, die Folie erst abzuziehen, wenn der Innenraum lackiert ist.

Eine weitere Montageart für Fenster ist, wie ebenfalls in Bild 24.24 dargestellt, die Fenster wie oben in Silikonkleber einzubetten, aber mit Sperrholzrahmen zu bauen, der auf die Kajütwand geleimt ist. Dies ist etwas schwieriger, aber gerahmte Fenster sind attraktiver als aufgeschraubte Fenster, und eignen sich besonders für die Montage an dünnen Kajütwänden. Die Rahmen können sowohl außen als auch innen angebracht werden, aber wir bevorzugen sie als optische Verbesserung des Innenraums. Wo auch immer solche Rahmen verwendet werden, sollten sie soviel Klebefläche bieten, daß sie eine starke Fensterverbindung gewährleisten.

Eine andere Art von Fenster ist das herausnehmbare „Arme Leute"-Fenster. Dies hält Regenwasser ab, kann aber das Wasser nicht abhalten, wenn es von einer massiven Welle getroffen wird. Dieser Fenster-Typ ist besonders für leichte Boote geeignet, die aufgrund ihrer Leichtigkeit normalerweise keine großen Wellen übernehmen. Man umrandet den Kajütausschnitt an drei Seiten mit einem trapezförmigen Rahmen, der am Boden anfängt und an den Seiten weitergeht, in einem 50 mm-Abstand von der Öffnung. Dieser Rahmen soll eine tiefe Nut aufweisen, damit eindringendes Wasser darin herunterläuft, und aus Entwässerungslöchern, die in den Ecken am unteren Rand gebohrt wurden, wieder nach außen geführt wird. Dann schneidet man ein Fenster von demselben trapezförmigen Umriß

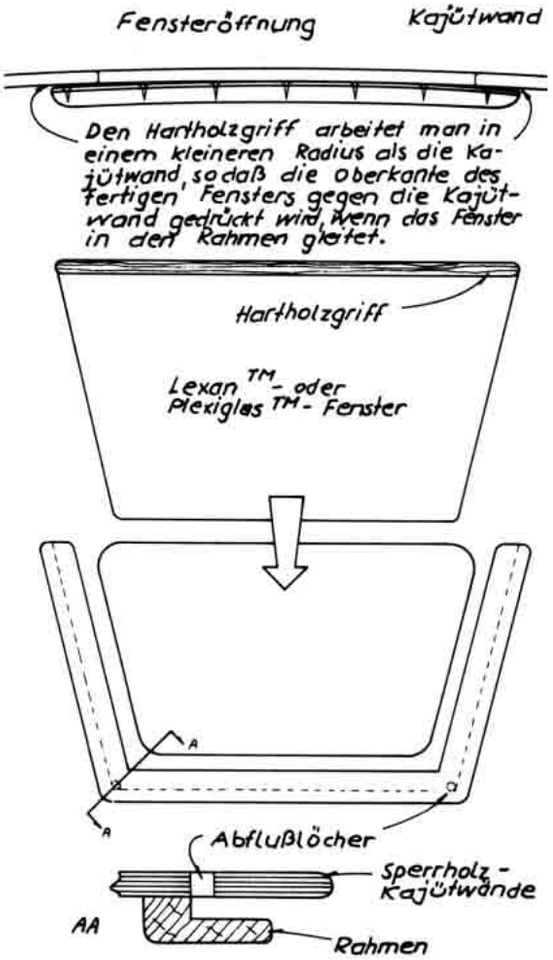

Fensteröffnung
Kajütwand
Den Hartholzgriff arbeitet man in einem kleineren Radius als die Kajütwand, sodaß die Oberkante des fertigen Fensters gegen die Kajütwand gedrückt wird, wenn das Fenster in den Rahmen gleitet.
Hartholzgriff
Lexan TM - oder Plexiglas TM - Fenster
A
A
Abflußlöcher
Sperrholz - Kajütwände
AA
Rahmen

Bild 24.25 – Preiswertes herausnehmbares Fenster.

wie der Rahmen zurecht, paßt es entsprechend zu und ergänzt einen Griff am oberen Rand. Um das Fenster herauszunehmen, hebt man es ca. 50 mm an und legt es beiseite. Dann kann man das Fenster durch ein gerahmtes feines Maschengitter ersetzen, das Insekten fernhält.

Elektrische und Rohrleitungssysteme

Damit man die elektrische Anlage sinnvoll einbauen kann, sollte man sich vor dem Einbau der Inneneinrichtung ein Verkabelungsdiagramm erstellen. Dies ist besonders wichtig, wenn man viele moderne elektrische Geräte verwenden möchte. Man plant im voraus die Lage sämtlicher Lampen, Instrumente, Sprechfunk, Pumpen, Kühlung und Maschinenanlagen. Hat man die Positionen dieser Geräte im Einrichtungsplan festgelegt, entwirft man die optimalen Routen für die Vedrahtung. Während des Innenausbaus trifft man dann Vorkehrungen für das Verlegen der Kabel, wie zum Beispiel

das Bohren von Löchern, bevor die Einbauteile montiert werden.

Der überwiegende Teil der Verdrahtung kann relativ leicht vor dem Auge verborgen werden, aber immer noch leicht für Wartungsarbeiten zugänglich sein. Man kann Kabel hinter Decksbalken, Vorderwänden von Schapps oder unter Sitzbänken verstecken. Die Hauptschalttafel baut man an einem zentralen Platz ein, wo einerseits die Verdrahtung nicht so aufwendig ist und andererseits garantiert ist, daß die Kabelbahnen gut versteckt werden können. Manchmal ist es einfach nicht möglich, sämtliche Kabel zu verbergen, so daß man andere Maßnahmen treffen muß, um sie für ein angenehmes Aussehen abzudecken. In diesen Fällen baut man U-förmige Abdeckungen aus Holz, die man mit Schrauben über den Kabeln anbringt, so daß man sie einfach entfernen kann. Man kann auch exotischere, kontrastierende Hölzer für die Abdeckungen verwenden, um bei geringem zusätzlichen Gewicht die Inneneinrichtung zu verschönern.

In einem Holzboot kann man die Kabel an beliebigen Stellen leicht mit handelsüblichen Kabelkrampen oder -befestigern montieren. Holz besitzt auch gute natürliche Isoliereigenschaften, so daß die Verdrahtung nicht gegen mögliche Schrumpfung abgeschirmt werden muß, wie beispielsweise bei Stahl- oder Aluminiumbooten.

Bei der Elektroinstallation im Bootsbau gibt es viele Schwierigkeiten. Deshalb empfehlen wir, daß Sie sich mindestens mit einem guten Buch mit diesem Thema vertraut machen, insbesondere, wenn Ihre Elektroanlage sehr groß wird. Ein excellentes Buch ist *Your Boat's Electrical System* von Conrad Miller, erschienen bei The Hearst Corporation, New York, 1973.

Bei den meisten Booten sind die Rohrleitungen relativ einfach und leicht einzubauen. Wir weisen darauf hin, daß man gut beraten ist, das Rohrleitungs-System von vornherein gut zu durchdenken, damit der notwendige Material- und Arbeitsaufwand möglichst gering gehalten wird. Der Wassertank gehört beispielsweise in die Nähe der Spüle, und der Schmutzwassertank in die Nähe der Toilette. Alle Rumpfdurchführungen sind mögliche Gefahrenquellen für das Boot, und wir empfehlen, nur die besten Beschläge (mit Verschlußventilen) hierfür zu kaufen und sehr sorgfältig einzubauen. Die Inneneinrichtung sollte man nach den Erfordernissen der Rohrinstallation entwerfen. Dies ist bei der Maschine besonders wichtig, wenn sie von Wänden umgeben werden oder mit einer Maschinenkiste abgedeckt werden soll. Hier muß für Wasserein- und auslässe, Auspuffsanlagen, Brennstofftanks und Versorgungsleitungen Platz vorgesehen werden.

Endbehandlung des Innenraums

Wir waren immer von natürlichen Holzfinishes begeistert. Manche Leute kritisieren Holz-Innenräume als zu dunkel und bleiben dabei, daß der einzige Weg, dies aufzuhellen, über helle Farblackierungen geht. In den meisten Fällen können diese Nachteile jedoch durch die Verwendung von hellen Hölzern ausgeglichen werden. Spruce, Esche, Okoume und Kiefer sind allesamt helle Hölzer, die außerdem eine schöne Maserung haben. Unseren allgemeinen Beobachtungen zufolge treten die hellen Holzarten in der Natur häufiger auf als die dunklen. Die weitverbreitete Verwendung von Beizen ist ebenfalls für den Ruf verantwortlich, daß Holz dunkel sei.

Dies soll nicht heißen, daß wir gegen die Verwendung von festen Farben in der Inneneinrichtung sind. Der geschmackvolle Gebrauch von Farben an den richtigen Stellen kann das Finish von naturfar-

Bild 24.26 – Vorbehandelter Innenraum eines IOR-Halbtonners.

bener Holzmaserung akzentuieren und gleichzeitig eine Aufhellung des Innenraums unterstützen. Die Beschichtung von Arbeitsplatten mit hellem Formica™ (mit WEST SYSTEM Harz einfach auf Holz zu verleimen) ergibt haltbare, pflegeleichte Arbeitsflächen. Das Streichen der Decken mit hellen Farben bietet gute Lichtausbeute. Helle Materialien für Polster und Gardinen frischen den Innenraum ebenfalls auf.

Im allgemeinen glaubt man, daß ein klarlackierter Innenraum wesentlich arbeitsintensiver ist, aber viele professionelle Bootsbauer sind der Ansicht, daß ein Innenraum mit naturfarbenem Finish bei gleichem Arbeitsaufwand attraktiver als ein farbig lackierter Innenraum sei. Eine deckende Farbe, insbesondere hochglänzende Lacke, heben selbst kleinere Oberflächenfehler deutlicher hervor. Dieselben kleinen Unebenheiten werden in einer klar lackierten Oberfläche durch die natürliche Maserung des Holzes vertuscht.

Wie bereits angesprochen, ist die Vorfertigung bei unseren Bauweisen nirgendwo wichtiger als bei Teilen der Inneneinrichtung. Es ist immer die selbe Weisheit: Beschichten und Schlichten von Einbauteilen ist außerhalb des Bootes auf einer bequemen Werkbank bedeutend effektiver als innen, unter engen Bedingungen. Es wird nicht nur weniger Arbeitszeit benötigt, sondern es ist auch ein weit besseres Finish möglich.

Einzelne Einbauteile werden zur Montage sorgfältig bearbeitet, zusammengefügt und bis zum Abbinden des Epoxids in ihrer Lage fixiert. Überflüssigen Kleber entfernt man sorgfältig während der Montage von den Verbindungen, solange er noch flüssig oder erst halbhart ist, denn so erspart man sich später schwieriges Schlichten und Schleifen. Hohlkehlen werden normalerweise während der Montage hergestellt. Dabei versucht man, sie so glatt und sauber wie möglich zu machen, indem man mit einem Mixstab das überflüssige Material entfernt und mit einem letzten Strich glättet. Wenn man keine große Erfahrung mit Hohlkehlen hat, übt man einfach an irgendwelchen nicht so wichtigen Eckverbindungen, um seine Handwerksleistung zu verbessern. Um die Farbe der Hohlkehlen der Inneneinrichtung des Rumpfes anzugleichen, experimentiert man mit Kombinationen aus leichtem Füller und der Hohlkehlenmischung NT. 405. Weiterhin kann man die Farbe der Hohlkehle anpassen, indem man Pigmente oder Temperafarbe dem Epoxid zufügt.

Wenn die Hohlkehlen vollkommen ausgehärtet sind, schleift man sie leicht über und beschichtet sie, nochmals mit Harz. Gleichzeitig füllt man alle Klammerlöcher oder andere Vertiefungen. Eine Mischung aus 406 und Harz ergibt den besten Füller für kleine Löcher bei einer Klarlackierung. Die einzige Gefahr ist hierbei, daß das Material nach dem Hartwerden so hart ist, daß es sich fast nicht mehr schleifen läßt; also bemüht man sich, die Reste sorgfältig zu reinigen.

Hat man die Inneneinrichtung fertiggestellt und sämtliche Leisten angebracht, inspiziert man noch einmal alle Oberflächen in Vorbereitung auf die klare oder farbige Lackierung. Die beschichteten Hohlkehlen sowie alle anderen Bereiche, wie Klammerlöcher, Kratzer oder Dellen, die man nochmal gespachtelt oder beschichtet hat, werden leicht übergeschliffen. In manchen Bereichen der Inneneinrichtung kann es vorkommen, daß man aufgrund der ungewöhnlichen Formen nur schwierig vorbeschichtete Teile verwenden kann. Diese Teile muß man dann nach dem Einbau in der üblichen Abfolge beschichten und schleifen. Der Feinheitsgrad des Schliffs im Innenraum ist Geschmackssache. Bei unseren professionellen Anwendungen und Klarlackierungen gehen wir beim Handschliff bis zu einer 220er-Körnung herunter (ob naß oder trocken). Beim Maschinenschleifen verwenden wir 150er-Körnung (und manchmal sogar 120er-Schleifpapier). Bei deckender Farbe, besonders bei hochglänzenden Polyurethanlacken, ist manchmal ein feinerer Schliff erforderlich.

Sobald die Vorbereitung der Inneneinrichtung abgeschlossen ist, steht man vor der wichtigen Aufgabe der Reinigung des Innenraums zur Vorbereitung des Endanstrichs. Hierzu entfernt man zunächst den ganzen Staub, Schmutz und Unrat mit dem Staubsauger aus dem Innenraum. Wir benut-

Bild 24.27 – Sauber und ordentlich mit WEST SYSTEM Epoxidharz endbehandelter Innenraum.

zen dazu einen kleinen Werkstatt-Staubsauger mit dem üblichen Zubehör. Als nächstes wischen wir den gesamten Innenraum mit weichen, saugfähigen Lappen und einem großen Eimer sauberen, warmen Wassers, in dem der Lappen immer wieder ausgespült wird. Man geht mehrmals durch den ganzen Innenraum, wobei man das Wasser häufig wechselt. Wenn die gesamte Oberfläche so sauber wie möglich ist, läßt man sie trocknen und wischt sie danach nochmals mit Lösungsmittel und Lappen ab, um mögliche Staub- und Verunreinigungsreste noch zu entfernen. Als letzten Schritt wischt man alle Oberflächen noch mit einem Staubbindetuch ab.

Streichen und Lackieren von Innenräumen

Die Innenräume von Booten sind weit schwieriger zu lackieren als die Außenseiten. Der Grund ist ziemlich einfach. Da sind sowohl viele hervorstehende Elemente, wie Schotten, Balken und Spanten, die man von allen Seiten anmalen muß, als auch Möbel, die vielleicht in schwierigen Bereichen an verschiedenen Oberflächen beschichtet werden sollen. Den Vorgang noch verkomplizierend gibt es Elemente, die gar nicht angemalt werden sollen, wie beispielsweise Fenster, Masonite™ Arbeitsflächen und diverse Beschläge. Falls Sie ein versierter und erfahrener Maler sind, können Sie diese Dinge aussparen. Falls nicht, schlagen wir vor, diese Teile abzukleben, so daß man sie nicht ungewollt mit Farbe einstreicht. (Hinweis: Im weiteren verwenden wir die Worte „streichen“ und „lackieren“ austauschbar.)

Im allgemeinen teilen wir die Anstricharbeiten in zwei oder mehr Schritte auf, da ein normaler Innenraum mehr Stunden zum Anstreichen benötigt, als eine oder sogar zwei Personen in einem Arbeitsgang bewältigen könnten. Bei einem 9 m-Boot ist es nicht verkehrt, 20 Stunden für die Anstricharbeiten im Innenraum einzurechnen – selbst für zwei Personen zuviel für einen Arbeitstag. Normalerweise gibt es in einem Innenraum verschiedene natürliche Unterteilungen, an denen man die Arbeit anfangen und abschließen kann, ohne unschöne Überlappungen zu produzieren. Man kann beispielsweise den Fußbodenbereich, bestimmte Teile der Einrichtung und die Decke unabhängig vom übrigen Innenraum erfolgreich streichen. Die Arbeit im voraus gedanklich zu überblicken und zu versuchen, die Arbeitsmenge zu erkennen, die man in einem Arbeitsgang bewältigen kann, ist wichtig; wenn man durch zu langes Anstreichen müde wird, nimmt die Qualität der Arbeit ab und die ganzen Stunden der Vorbereitung zahlen sich nicht wie erwartet aus. Während des gesamten Anstrichs sollte man es sich so bequem wie möglich machen. Das bedeutet ausreichende Belüftung, eine entsprechend kühle Arbeitstemperatur und gute Beleuchtung.

Wir nehmen an, daß Sie bereits für die anderen Innenarbeiten ein gutes Beleuchtungssystem entworfen haben, aber wir sind uns auch bewußt, daß Endlackierungen eine „Super“-Beleuchtung erfordern, damit man keine Stellen übersieht und die pro Flächeneinheit aufzutragende Farbmenge richtig bewerten kann. Zu wenig Beschichtungsmaterial ergibt trockene Stellen, die nicht so glänzen wie der restliche Anstrich. Bei zu viel Farbe gibt es Farbläufer. Man muß den Auftrag ständig überprüfen; und dies erfordert genügend Licht. Eine Antwort auf das Beleuchtungsproblem ist die Verwendung einer Handlampe in Verbindung mit dem allgemeinen Beleuchtungssystem. Man kann diese Lampe mitnehmen, um den direkten Arbeitsbereich genauer zu beleuchten.

Für Innenräume nehmen wir hochglänzende Klar-und Farblacke, hauptsächlich, weil sie das Licht besser reflektieren und so zu einer besseren Beleuchtung dieser Bereiche beitragen. Wie schon früher angedeutet, erscheinen bei glänzenden Lakken mehr Oberflächenfehler als bei seidenmatten oder matten Lackierungen. Mattlacke haben jedoch ihre eigenen Nachteile: sie sind normalerweise porös und schlecht zu reinigen und sie werden mit der Zeit unansehnlich. Glänzende Lacke sind im Gegensatz dazu einfach zu reinigen und behalten, wenn sie vor Sonnenlicht geschützt werden, ihren Glanz über viele Jahre, so daß sie fast nie erneuert werden müssen. Da klarlackierte Innenräume nicht dem Sonnenlicht ausgesetzt sind, ist kein hochwertiger Bootslack mit UV-Filter notwendig. An dessen Stelle wählt man einen Lack, der sich leicht auftragen läßt und hochglänzend trocknet.

Wie wir bereits in Kapitel 11 besprochen haben, ist die Erfahrung mit einem speziellen Produkt wohl der größte Einzelfaktor für eine gute Endlackierung. Wenn man ein System bereits oft verwendet hat, ist man eher in der Lage, dessen Verhalten in Bezug auf Temperatur und Luftfeuchtigkeit vorauszusagen. Ein neues Produkt sollte man immer zunächst an einer unauffälligen Stelle ausprobieren, um sicherzugehen, daß es zur ausgehärteten WEST SYSTEM Epoxidharz Oberfläche kompatibel ist. Um Erfahrung mit irgendwelchen Lacken oder Farben zu bekommen, streicht man zunächst das Vorpiek, unter Sitzbänken und anderen unauffälligen Stellen.

Schaumrollen geben die richtigen Mengen der Beschichtung schneller und besser ab als Pinsel, so daß man sie überall einsetzen sollte, wo es möglich ist. Damit man Ecken, Kanten und unterbrochene Oberflächen leichter erreichen kann, zerschneidet man die Wechselrollen. Während man die Oberfläche rollt, federt man mit einem hochwertigen Pinsel über die Oberfläche, um sie zu glätten und alle Luftbläschen zu entfernen. Es ist wichtig, daß man dies möglichst schnell tut, nachdem die Farbe mit der Rolle aufgetragen wurde, damit der Lack noch natürlich verläuft und eine möglichst glatte Oberfläche erzielt wird. In Bereichen, die nicht mit der Rolle erreicht werden können, benutzt man einen Pinsel.

Das Lackieren mit Hilfe eines Pinsels ist eine Fertigkeit, die man erlernen muß. Das Ziel ist jedenfalls, die richtige Farbmenge aufzutragen und möglichst gleichmäßig zu verteilen, so daß sie von alleine verläuft und eine gleichmäßige, fein strukturierte Beschichtung ergibt. Die inneren und äußeren Ecken der Stringer, Spanten und anderer Hindernisse bilden Problemzonen, mit denen man fertigwerden muß. Ecken sind natürliche Sammelstellen von überflüssiger Farbe und stellen häufig den Ursprung von Farbläufern dar.

Ein guter Pinsel ist besonders wichtig. Wir raten dazu, in einen guten Dachshaar- oder einen feinen Borstenpinsel zu investieren. Es gibt seit kurzem gute Erfolge mit den neuen Schaumpinseln, in manchen Fällen scheinen sie sogar den Pinseln überlegen zu sein. Aber sie haben offensichtlich nur eine kurze Lebensdauer, wobei sie zuerst gute Leistungen zeigen, nach kurzem Gebrauch jedoch immer schlechtere Ergebnisse liefern, sobald sich der Schaum zersetzt.

Staub ist offenbar häufig während der Lackierung unmöglich unter Kontrolle zu bringen; aber man kann manche Schritte unternehmen, dieses Problem zu verringern. Zunächst versucht man alles, um Staub und Schmutz aus dem Innenraum zu entfernen, bevor man mit der Lackierung beginnt. Während man lackiert darf kein anderer irgendeine Arbeit verrichten, die in der Werkstatt Staub verursacht. Wir gehen sogar so weit, den Fußboden in der Nähe des Bootes mit Wasser naßzumachen. Wenn der Außenbereich des Bootes immer noch schmutzig ist, nützt die Reinigungsaktion im Innenraum wenig – wenn man sich auf die staubige Außenseite setzt, werden die Hosen schmutzig und man trägt den Staub in das Boot. Dies passiert ebenfalls mit Schuhen und allen anderen Dingen, die staubig werden, bevor man in den Innenraum steigt.

Unmittelbar vor der Lackierung eines Bereichs wischt man nochmals mit dem Staubbindetuch darüber. Diesen Lappen führt man immer in seiner Tasche mit sich. Während man lackiert, könnte man noch Stellen entdecken, die staubig sind. Dann hört man auf und entfernt sie, bevor man weiterlackiert, denn Verunreinigungen verderben sowohl Farbe oder Lack in der direkten Umgebung, als auch Pinsel und Beschichtungsmaterial. Mit genügend Staub und Schmutz ergibt sich ein „Anti-Rutsch-Effekt“ .

Beim Auftragen von Lacken ist die Zeit wichtig. Nachdem sie mit der Rolle aufgetragen ist, bleibt meist nur ein kurzer Zeitraum, um mit der Beschichtung zu arbeiten, bevor sie ihre Lösungsmittel abgibt und zu trocknen beginnt. Die Trockenzeiten verändern sich mit den Umgebungsbedingungen. Bei heißem Wetter lassen manche Lacke nur wenige Minuten für Korrekturen; andere bieten 15 – 20 Minuten Zeit für Verbesserungen. Da man mehr Zeit hat, in der man Stellen nachstreichen und Läufer aufhalten kann, empfehlen wir, bei kühleren Temperaturen zu lackieren und langsamer trocknende Anstriche zu verwenden.

Kapitel 25

Bau von Decks

Die ersten seegehenden Boote sind noch ohne Decks gebaut worden; schon im 13ten Jahrhundert eroberten die Wikinger in ihren offenen Langschiffen, in denen die Mannschaft und die Ladung den Elementen ausgesetzt waren, die Meere. Während dieser Periode begann das Deck ein üblicher Zusatz der seegehenden Fahrzeuge zu werden, und dies mit guten Gründen. Der Einsatz von Decks verbessert das Fahrzeug in drei Bereichen:
(1) Ein Deck hält Wasser aus dem Rumpf, was ihn seetüchtiger macht und seinen Inhalt und die Mannschaft vor den Unbillen des Wetters schützt. Eine Leinwandplane kann zwar als Schutz vor Regenwasser dienen, aber sie wäre niemals angemessen, wenn große Seen über das Boot stiegen. Bei bestimmten Bootstypen muß das Deck genauso stabil wie der Rumpf sein, um den Kräften von tausenden von Litern standhalten zu können, die sich auf einmal darüber ergießen können.
(2) Ein Deck stellt eine Arbeitsplattform für bestimmte Aufgaben des Fahrzeugs dar. Deckskonstruktion und -layout können entscheidend für die Sicherheit der Crew und die effektive Handhabung des Bootes, insbesondere unter unangenehmen Bedingungen, sein.
(3) Ein Deck verbessert die Geschlossenheit der Bootskonstruktion. Ein Rumpf ohne Deck ist normalerweise sehr wabbelig, da keine Unterstützung der oberen Schergänge existiert. Derselbe Rumpf erhält mit einem Deck eine erstaunlich starre Struktur mit großer Verwindungs- und Torsionssteifigkeit.

Moderne topgetakelte Riggs mit ihren großen Vorsegeln sind von ziemlich stramm gespannten Vorstagen abhängig, die das Vorliek gut durchsetzen lassen. Um ein straffes Vors tag zu gewährleisten, ist eine große Vorspannung notwendig, die entweder über das Achterstag oder das Vorstag eingebracht werden muß. Dadurch werden Kräfte erzeugt, die das Boot durchbiegen lassen, indem die Enden nach oben gegen den Mast gezogen werden. Ein gut konstruiertes und gebautes Deck kann hohen Druckkräften widerstehen und dadurch eine Durchbiegung des Rumpfes verhindern.

Das Deck muß außerdem noch in der Lage sein, großen Punktlasten zu widerstehen, wo sie auch immer auftreten. Winschen und andere Beschläge erzeugen hohe Verformungsspannungen, die das Deck ertragen können muß.

Vorbereitung des Rumpfes für die Decksmontage

Bevor die Arbeiten am Deck beginnen, sollte man sicherstellen, daß alle Dinge, die man praktischerweise unter Deck einbauen kann, fertig sind. Dies schließt die Maschine, Tanks, Rohrleitungsinstallation, einige elektrische Teile sowie sämtliche Einrichtungselemente ein. Sobald man das Eck montiert hat, ist die Arbeit im Rumpf schwieriger, da der Zugang eingeschränkt und die Beleuchtung schlechter ist.

Man sollte Vorkehrungen treffen, damit die bereits eingebauten Elemente der Inneneinrichtung vor allgemeinen Beschädigungen während der Decksmontage geschützt werden. Bereiche, auf die Kleber tropfen könnte, werden mit PE-Folie abgedeckt, die mit Tape fixiert wird. Bereiche, über die man läuft oder klettert, sollte man mit zurechtgeschnittenem Pappkarton abdecken. Um dies zu fixieren, benutzt man ebenfalls Klebeband.

Wenn man den Rumpf für die Aufnahme des Decks vorbereitet, muß man zunächst den Schergang auf seine gewünschten Maße hobeln. Nehmen wir an, man hat die Seite Deck sorgfältig gekennzeichnet; in vielen Fällen sind die Meßpunkte jedoch von Balkwegern“ ersetzt worden, wodurch die eigentlichen Markierungen unleserlich wurden. Falls die auf dem Schnürboden entwickelte, und später an der Helling befindliche Seite Deck gut gestrakt hat, hat man vermutlich keine großen Schwierigkeiten beim abschließenden Straken, so daß man eine hohe Genauigkeit erreicht, wenn man ausschließlich den eingebauten Balkweger als Führung nimmt.

Da die Seite Deck ein so herausragendes Maß bei der Bestimmung des Schnittpunkts zwischen Rumpf und Deck ist, ist sie viel leichter zu erkennen als irgendein anderes Maß des Bootes. Wenn sie wellig oder beulig ist, kann das leicht das Aussehen eines

ansonsten schönen Bootes zerstören; daher sollte man alle Anstrengungen unternehmen, diese kritische Stelle des Bootes so gut strakend wie möglich hinzubekommen.

Ausstraken der Seite Deck

Während man die Seite Deck beihobelt, möchte man auch die richtige Schmiege des Balkwegers zum anschließenden Deck erhalten. Man kann den Winkel, in dem das Deck mit dem Balkweger zusammentrifft, auf dem Schnürboden abwickeln, aber es ist relativ unbedeutend zu diesem Zeitpunkt den exakten Winkel zU erreichen. Man bemüht sich, den Winkel einigermaßen genau zu treffen, wobei man auf der hohen Seite etwas mehr stehen läßt. Später, wenn die Decksform etwas genauer bestimmt ist, da schon einige Decksbalken eingebaut sind, kann man abschließend beistraken und den Balkweger auf die exakte Schmiege hobeln. In diesem frühen Stadium ist es jedoch wichtig, daß man die endgültige Seite Deck exakt bestimmt, da sie der Hauptbezugspunkt aller Messungen ist. Alle zukünftigen Decksmaße, die für das Einpassen des Decks-Rahmenwerks, der Cockpits und Aufbauten notwendig sind, werden von der Seite Deck genommen.

In der Seitenansicht ist die Seite Deck normalerweise eine relativ gerade Linie. Selbst stark gekrümmte Seite Deck Linien biegen sich nicht mehr als 300 mm über die gesamte Bootslänge. Aus diesem Grund erleichtert ein Handhobel mit einer besonders langen Grundfläche die Strak arbeiten enorm. Mit der langen Grundfläche entdeckt man Buckel oder Senken über einen einigermaßen langen Abschnitt. Trotzdem hat auch ein solcher Hobel seine Grenzen. Man muß den allgemeinen Strak immer noch selbst mit dem Auge beurteilen. Der Strak der Seite Deck läßt sich bei schmalen Rümpfen, die in der Draufsicht der Seite Deck eine sehr geringe Krümmung der Kurve haben, am einfachsten bestimmen. Breite Rümpfe werfen hier die größten Probleme auf, da man nicht die Seite Deck entlangsehen und die gesamte Länge auf einmal betrachten kann. Der einzige Weg, die ganze Seite Deck auf einmal zu betrachten, ist, soweit zurückzutreten, bis man die alles sehen kann; aus diesem Winkel entdeckt man jedoch kaum kleinere Unebenheiten. Normalerweise ergibt sich durch die Seitenansicht, zusammen mit sorgfältigen Betrachtungen derselben Stellen vom Bug und vom Heck aus, ein Eindruck vom allgemeinen Strak. Jeweils zwei, sich auf den gegenüberliegenden Seiten entsprechende Bereiche der Seite Deck werden miteinander verglichen. Falls die eine Seite nicht genau so aussieht wie die andere, versucht man, den Grund herauszufinden.

Man kann noch andere Hilfen zur Beurteilung des Straks der Seite Deck einsetzen. Dazu legt man eine ziemlich dicke Latte an die Seite Deck, um zu sehen, ob sie gleichmäßig anliegt. Falls die Latte in demselben Bereich einen Buckel anzeigt wie das Auge, wird der sichtbare Eindruck bestätigt und man kann mit ruhigerem Gewissen an das Beihobeln der Stellen gehen. Manchmal decken wir die gehobelte Fläche mit blauer Schreinerkreide zu, um den Sehvorgang zu unterstützen. Diese Markierung hilft dem Auge, die eigentliche Seite Deck zu entdecken, so daß man sie geanuer messen kann.

Das Beihobeln der Balkweger ist bei den meisten Booten wohl die größte einzelne Hobelaktion des gesamten Projekts. Ein großes Boot hat vielleicht 50 mm dicke Balkweger auf 25 mm dicke Plankung geleimt, also insgesamt 75 mm zu hobelnde Dicke. Das Beihobeln von 75 mm dickem Holz entlang des gesamten Umfangs eines Rumpfes kann ein arbeitsintensives Unternehmen sein. Wir haben viele Arbeitsstunden gespart, indem wir die groben Hobel arbeiten mit dem Skil® Maschinenhandhobel durchgeführt haben, bis man an den Punkt gelangt, an dem man Handhobel nur noch zum abschließenden Straken einsetzt. Dieser elektrische Hobel besitzt eine lange Grundfläche, mit der man den allgemeinen Strak entwickeln und beihalten kann, während man sich zum endgültigen Seite-Deck-Maß vorarbeitet.

Sobald man die Seite Deck entwickelt hat, kann man das Deck genauer bestimmen, indem man den Schottoberkanten ihr genaues Profil gibt. Man kann die Decksprofile der Schotts bereits nach dem Schnürboden vor deren Einbau geformt haben. In

Bild 25.1 – Rahmenspanten und Decksbalken in der Helling.

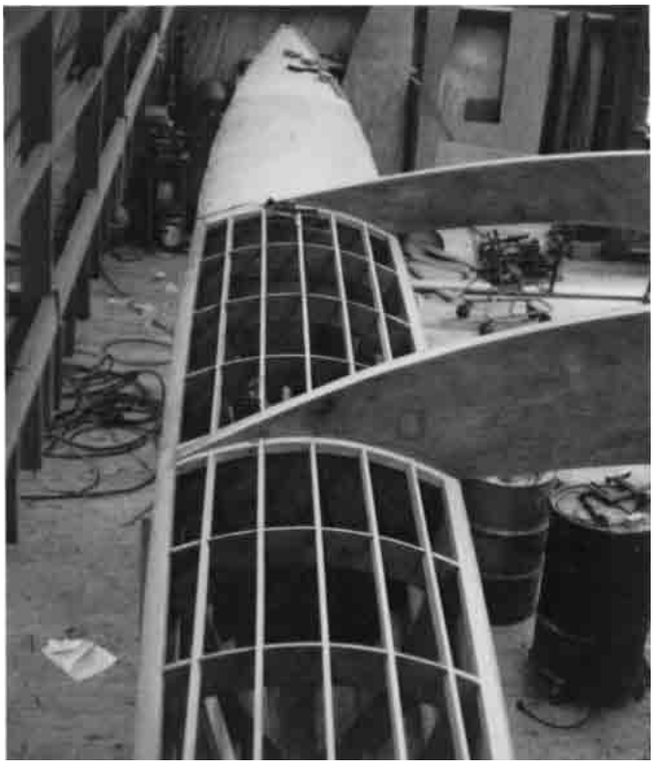


Bild 25.2 – Dieselben Decksbalken mit eingebauten Stringern, fertig zum Auflegen des Decks.

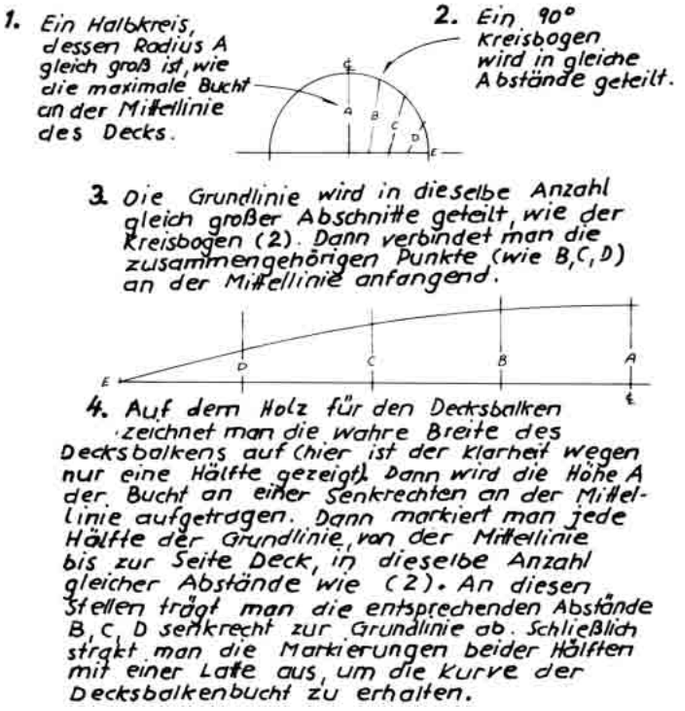

1. Ein Halbkreis, dessen Radius A gleich groß ist, wie die maximale Bucht an der Mittellinie des Decks.
2. Ein 90° Kreisbogen wird in gleiche Abstände geteilt.
A
B
C
D
E
3. Die Grundlinie wird in dieselbe Anzahl gleich großer Abschnitte geteilt, wie der Kreisbogen (2). Dann verbindet man die zusammengehörigen Punkte (wie B,C,D) an der Mittellinie anfangend.
4. Auf dem Holz für den Decksbalken zeichnet man die wahre Breite des Decksbalkens auf (hier ist der Klarheit wegen nur eine Hälfte gezeigt). Dann wird die Höhe A der Bucht an einer Senkrechten an der Mittellinie aufgetragen. Dann markiert man jede Hälfte der Grundlinie, von der Mittellinie bis zur Seite Deck, in dieselbe Anzahl gleicher Abstände wie (2). An diesen Stellen trägt man die entsprechenden Abstände B, C, D senkrecht zur Grundlinie ab. Schließlich strakt man die Markierungen beider Hälften mit einer Latte aus, um die Kurve der Decksbalkenbucht zu erhalten.

Bild 25.3 – Geometrische Konstruktion der Decksbalkenbucht.

diesem Fall müssen sie lediglich noch mit der Seite Deck und den anderen Schotts eingestrakt werden. Bei manchen Booten, insbesondere solchen mit Sperrholz-Rahmenspanten, lohnt es sich, die Decksbalken bereits vor dem Aufbau der Spanten in der Helling als Teil der Spanten zu nutzen. Nach dem Umdrehen des Rumpfes muß man dann nur noch die vorgekerbten Decksbalken beistraken, bevor die übrigen Teile des Decks-Rahmenwerks eingebaut werden. (Siehe Bild 25 .1)

Abwicklung der Decksbalkenbucht

Alle Decks sind gekrümmt oder haben Decksbucht, damit Regen oder an Bord gespülte Seen leicht ablaufen können. Normalerweise wird diese Decksbucht als soundsoviel Millimeter Höhe auf die größte Decksbreite in den Zeichnungen angegeben. Nur unter Verwendung dieser beiden Maße stellen wir dann eine Vorrichtung her, mit der man auf mechanischem Wege den größten und die kleiner werdenden anderen Decksbalken anzeichnen kann. Bild 25.4 bringt diesen Vorgang im Detail.

Wenn man lediglich ein paar Decksbuchten zeichnen muß, zum Beispiel die der Schotts, kann man dies für jede einzelne Kurve geometrisch machen. Diese Methode wird in Bild 25.3 erklärt.

Bei schmalen Rümpfen, wie sie bei Mehrrumpfbooten üblich sind, kann man alle Decksbalken mit einer Hauptschablone formen; alle Decksbalken, gleich welcher Breite, entsprechen dann Teilen dieser Hauptbucht. In diesem Fall wird die geometrische Methode zur Erstellung dieser Schablone von der Decksbucht des breitesten Decksbalkens verwendet. Auf dieser Schablone kennzeichnet man die Mittellinie, die die maximale Decksbreite in zwei gleiche Abstände aufteilt. Diese Mittellinie bringt man in Deckung mit der gewünschten Mittellinie der schmaleren Decksbalken, die man dann anzeichnen kann.

Manche Deckskonstruktionen haben so ungewöhnliche Formen, daß man sämtliche Maße auf dem Schnürboden abwickeln muß. Diese Schnürbodenarbeit ist nicht so intensiv wie für einen Rumpf, da die Deckslinien nicht so komplex sein werden. Zusätzlich dazu ist die Genauigkeit der Abmessungen nicht von so großer Bedeutung. (Dies soll nicht den Eindruck erwecken, daß das Deck nicht so gut straken soll wie der Rumpf.) Gute Beispiele für solche modernen Entwürfe, die Schnürbodenarbeit erfordern, sind welche mit einer „Blase“ in der Decksmitte, die als Aufbauähnliches Hilfsmittel zur Schaffung von Stehhöhe unter Deck dient.

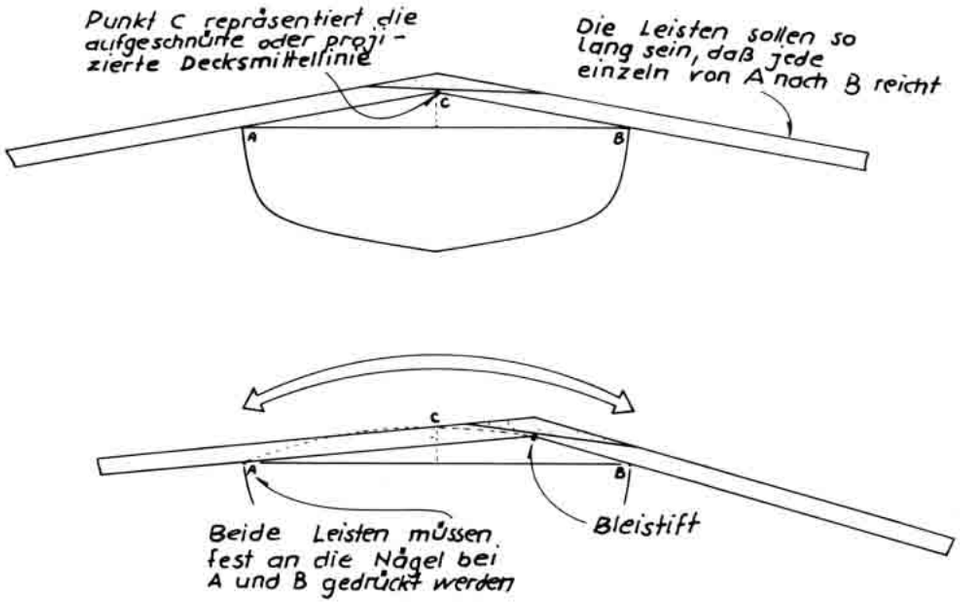

Punkt C repräsentiert die aufgeschnürte oder projizierte Decksmittellinie
Die Leisten sollen so lang sein, daß jede einzeln von A nach B reicht
C
A
B
C
A
B
Bleistift
Beide Leisten müssen fest an die Nägel bei A und B gedrückt werden

Bild 25.4 – Die Länge des breitesten Decksbalken wird auf dem Schnürboden oder einer anderen passenden Fläche, wie beispielsweise einer Sperrholzplatte, aufgezeichnet. Mit der Basislinie als Bezugslinie trägt man in der Mitte des Balkens nach oben die maximale Höhe des Decksbalkens von der Basis ab (typisch sind 75 -150 mm bei einem 3 m breiten Boot). Dann schlägt man drei Nägel in die Entwurfsfläche, je einen an die Enden der Grundlinie, die die Enden des Decksbalkens darstellen (Punkte A und B), und den dritten (Punkt C) an der maximalen Höhe des Decksbalkens in der Mitte zwischen den äußeren Nagelpunkten. Nun legt man zwei abgerichtete Latten, jede mindestens 30 cm länger als die maximale Decksbalkenbreite, auf die Zeichnung, wobei sich die beiden Latten am mittleren Nagel treffen und ihre Mitten an den Nägeln der Endpunkte anliegen. Die beiden Latten verbindet man am mittleren Nagel mit einer Sperrholzlasche, läßt dabei aber eine kleine Lücke im Schnittpunkt der Latten, in die man einen Bleistift einsetzen kann. Diese mechanische Anreißvorrichtung kann man dann von einer Balkenseite zur anderen bewegen, indem man die beiden äußeren Nägel als Führung benutzt, und so eine perfekte Bucht über die ganze Breite des Decksbalkens zeichnen. Wenn die Breite kleiner wird, dient die Vorrichtung weiterhin zum Zeichnen eines perfekten Bogens, der im richtigen Verhältnis zur geringeren Abmessung steht.

Decks-Versteifungen

Die Decksoberfläche stellt einen bedeutenden Anteil an der Gesamtoberfläche eines Rumpfs dar. Dessen Gewicht ist im Bezug auf den Gewichtsschwerpunkt, der aufgrund verbesserter Seetüchtigkeit und vergrößertem Geschwindigkeitspotential möglichst tief liegen soll, von entscheidendem Einfluß, weil es immer an der höchsten Stelle eines Rumpfes liegt. Normalerweise zahlt sich eine Erleichterung des Decks besser aus, als im Rumpf selbst. Man sollte alles unternehmen, was man kann, um ein angemessen stabiles Deck bei geringstmöglichem Gewicht innerhalb ausreichender Sicherheiten zu erhalten.

Decks sind relativ ebene Flächen, gerade im Vergleich zu den sphärisch gekrümmten Flächen des Rumpfes. Bei ebenen Flächen ist die ausgiebige Verwendung eines tragenden Rahmenwerks eine der besten Methoden, für Festigkeit und Steifigkeit zu sorgen. Für Einzelbauten und sogar Kleinserien ist das Rahmengetragene Deckssystem eine der effizientesten und schnellsten Methoden zum Bau von Decks. Dieses tragende Rahmenwerk kann viele Formen, abhängig von der Art des Bootes und anderen Variablen wie dem Layout von Cockpit und Aufbauten, annehmen. Wir wenden zwei Hauptkonzepte für Versteifungssysteme an und modifizieren sie jeweils, um den speziellen Anforderungen einzelner Boote gerecht zu werden. Die erste Methode ist relativ traditionell; sie benutzt große Querträger mit zusätzlichen kleineren Längsstringern zur weiteren Unterstützung. Die Stringer werden manchmal vernachlässigt oder ganz weggelassen, wenn sie keinen bestimmten strukturellen Zweck haben. Die zweite Methode nimmt eine Reihe von großen Längsträgern, mit kleineren Trägern, die quer dazu über die Längsträger gebogen werden. Im allgemeinen zieht man die zweite Methode bei Booten mit breiten Decks vor, insbesondere bei großen Kielbooten. Die erste Methode wird weitgehend bei Booten mit schmaleren Decks, wie Mehrrumpfbooten eingesetzt.

Decks-Längsträger-Konzept

Bei den alten karweelbeplakten Booten wurden die Decks genau wie die Rümpfe beplankt; die

Querträger waren also sinnvoll. Wenn man aber Sperrholz anstelle von Planken als Decksmaterial einsetzt, ändert sich die strukturelle Bedeutung der Decksbalken. Decksbalken wurden sorgfältig mit einem Balkweger/Knie-System verbolzt, wodurch die beiden Balkweger zusammengehalten wurden. Heute dient Sperrholz als Decksmaterial, das mit den Balkwegern verleimt wird, derselben Funktion und leistet dabei eine bessere Arbeit.

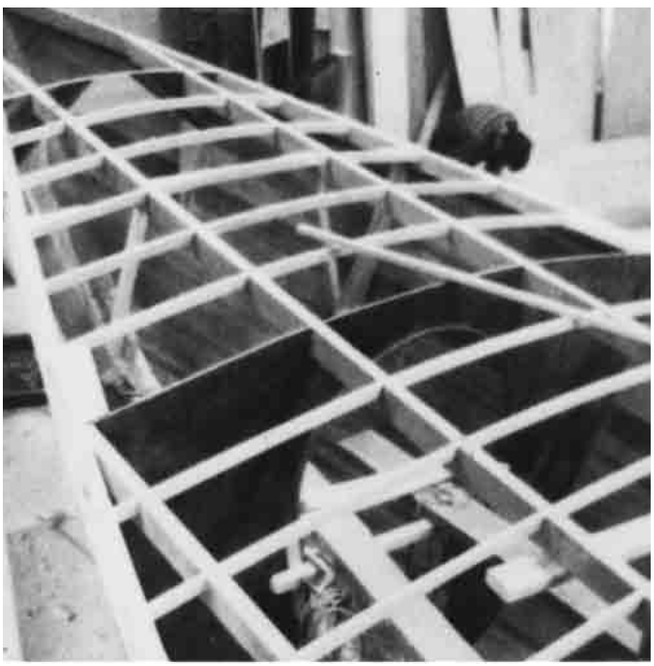
Die Hauptfunktion des Rahmenwerks eines Decks ist dieselbe wie bei einem Rumpf: es soll die Fläche so gut stützen, daß sie bei hoher Belastung nicht verwölbt. Die Hauptbelastung bei Deckskonstrukturen vieler Boote ist von längsgerichteter Natur, so daß es sinnvoll ist, einen großen Teil des Tragwerks in der Längsrichtung auszurichten, damit sie die Belastungen übernehmen können.

Das Längsträgerkonzept wurde bei vielen Booten sehr erfolgreich eingesetzt und hat einige praktische Nebenwirkungen.

(1) Die Hauptbewegungsrichtung im Boot verläuft in der Längsrichtung. Die Querträger so klein wie möglich zu halten, vergrößert den vorhandenen Kopfraum bei gegebener Bootsgröße.

(2) Das Längsträgerkonzept kann den Bau des Rahmenwerks vereinfachen.

(3) Wenn richtig angeordnet, können die Längsträger zu festen Punkten werden, an denen man die wichtigsten Beschläge mit einem maximalen Belastungspotential befestigen kann.



25.5 – Decklängsbalken und kleinere Decksbalken in Schiffsquerrichtung auf GOLDEN DAZY.

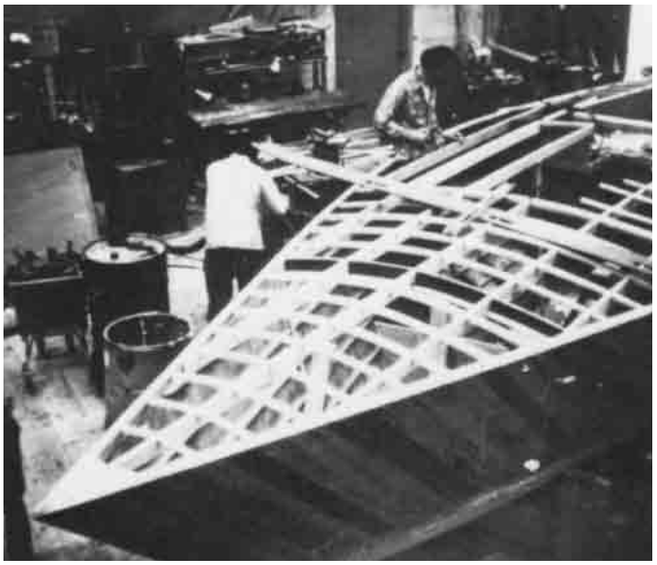


Bild 25.6 – Vordecks-Rahmenwerk einer Halbtonner-Rennyacht. Die Längsverbände tragen die Kajütseitenwände und das hängende Cockpit.

Beispiele der Decklängsträger-Bauweise sind in den Bildern 25.5 und 6 abgebildet.

Das Decksrahmenwerk der in Bild 25.5 gezeigten 12.80 m-Segelyacht beginnt mit dem Einbau von vier lamellierten Längsträgern mit einem Querschnitt von 38 x 100 mm. Wir richten sie mit Hilfe der bestehenden Decksprofile der Schotts und der Balkweger als den Hauptbezugspunkten für die Maße aus. Falls nötig, stützen wir provisorisch mit zum Bootsboden reichenden Pfosten ab, insbesondere, wenn sie zwischen den Schotts durchzubiegen drohen. Die Querträger richten wir normalerweise aus, indem wir sie, in Längsrichtung betrachtet, für das Auge in Deckung bringen. Die Ausrichtung der Längsträger können wir an jedem Konstruktionsspant, den wir aussuchen, mit der Schablone der Decksbalkenbucht kontrollieren. Wenn die Längsträger montiert sind, ist der Einbau des restlichen Rahmenwerks relativ einfach.

Die in Bild 25.5 gezeigten Querträger sind aus geradem Vollholz gesägt und haben einen Querschnitt von 18 x 34 mm. Dann wurden sie einfach über die vier Längsträger gebogen, so daß sich eine natürliche Decksbalkenbucht einstellte, die so genau war, daß nur geringfügige Nacharbeiten nötig waren.

Wir haben die Längs-wie die Querträger in die Balkweger eingelassen. Die Kerbe im Balkweger ist dreieckig, wodurch der Querträger gehalten und voll getragen wird. (Siehe Bild 25.7.) Die dreieckige Kerbe ist eine schnelle und effektive Methode für die Verbindung von Decksbalken und Balk-

wegern, und wir haben sie seit vielen Jahren eingesetzt. Diese Methode haben wir auch in einigen anderen Anwendungsgebieten eingesetzt, wo Holzelemente in einem angenäherten rechten Winkel miteinander verbunden werden sollten.

Zur Herstellung der Kerbe kennzeichnet man zunächst die Abmessungen der Kerbe auf dem Schnittholz. Die beiden kritischen Kerbmaße sind ihre Länge und Tiefe. Diese Abmessungen bestimmen die Schmiege, die in der Kerbe entsteht. Die Breite der Kerbe ist abhängig von der Breite der einzulassenden Latte. Dann schneidet man die beiden Seiten der Kerbe mit einer Feinsäge ein. Das Holz zwischen den Sägeschnitten wird mit einem scharfen Stecheisen entfernt und mit einer Feile beige arbeitet.

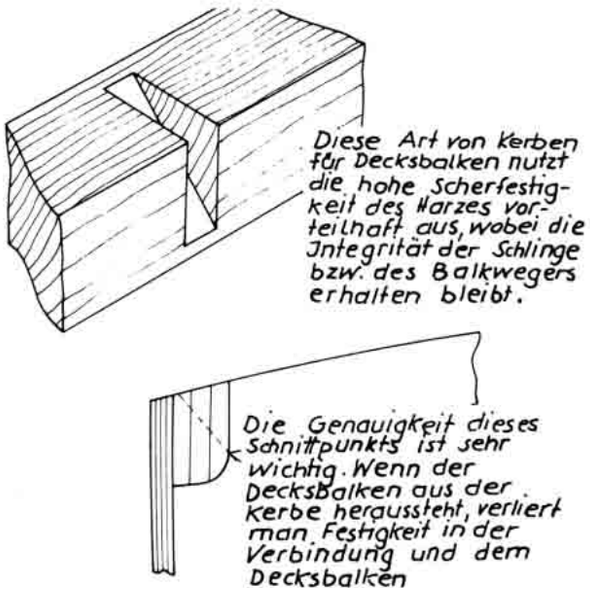

Diese Art von Kerben für Decksbalken nutzt die hohe Scherfestigkeit des Harzes vorteilhaft aus, wobei die Integrität der Schlinge bzw. des Balkwegers erhalten bleibt.
Die Genauigkeit dieses Schnittpunkts ist sehr wichtig. Wenn der Decksbalken aus der Kerbe herausssteht, verliert man Festigkeit in der Verbindung und dem Decksbalken

Bild 25.7 – Dreieckige Kerbe.

Bild 25.8 – Dreieckige Kerben wurden in diesen lamellierten Decksbalken vor der Verleimung mit dem Sperrholzspant geschnitten. Die Deckslängsstringer waren danach leicht einzubauen.

Nun muß man lediglich noch den Spant oder Stringer an die existierende Kerbe anpassen. Dies schließt für eine gute Passung die Übertragung der Schmiege und der Kerbmaße auf das anzupassende Element ein. Dazu schneidet man die Schmiegen an den einzupassenden Enden auf der richtigen Länge, so daß das Element in der richtigen endgültigen Position in der Kerbe sitzt. Nachdem alle Teile sorgfältig angepaßt sind, verleimt man sie mit einer dicken Klebermischung, die alle unvorhergesehen existierenden Spalte zwischen den Partnern überbrückt.

Man kann die Längsträger auch vorteilhaft als strukturelle Elemente zur Befestigung von Cockpits oder Kajütseitenwänden verwenden. In Bild 25.9 dienen die vier Längsträger als tragender Rahmen zur Aufhängung des ungewöhnlichen U-förmigen Cockpits. Wir konnten dies dadurch machen, daß wir zunächst das Cockpit selbst einbauten und dann die Längsträger an den einzelnen Seitenteilen des Cockpits in der richtigen Höhe befestigten. Man beachte auch die auf die korrekte Form gesägten halben Decksbalken seitlich des Cockpitbereichs. Diese halben Decksbalken überspannen den kurzen Abstand zwischen Balkweger und Längsträger. Sie

Bild 25.9 – Von Deckslängsbalken getragenes Cockpit.

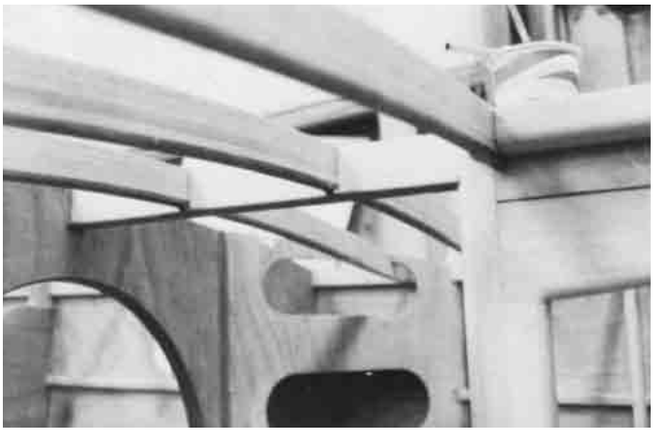


Bild 25.10 – Lamellierte Decksbalken mit Auffütterungsstücken und Hartholzkappe entlang der Mittellinie. Rechts befinden sich Auffütterungen und Stütze für auf dem Deck stehenden Mast.

sind an ihren Enden jeweils mit dreieckigen Kerben eingepaßt.

Lamellierte Decksbalken

Die eher traditionell gebauten lamellierten Decksbalken dienen als die Hauptstützen des in Bild 25 .11 gezeigten Decks-Rahmenwerks. Durch die ungewöhnliche Form dieses Decks wäre. die Verwendung des Längsträgerkonzepts unpraktisch. Das stark gewölbte Deck haben wir aufgeschnürt, um die wahre Form der einzelnen Balken zu erhalten und sie danach auf dem Schnürboden mit der Fußboden-Klotz-Methode wie in Kapitel 9 beschrieben zu lamellieren.

Da man nur schlecht an der Unterseite des Decks arbeiten kann, behandeln wir alle Elemente des Deck-Rahmenwerks bis zu Ende vor. In diesem Fall haben wir die lamellierten Decksbalken geformt und beschichtet, und dann mit den dreieckigen Kerben an den Balkwegern befestigt. Damit sie auch in der richtigen Lage eingebaut wurden, haben wir die Maße der Balkweger der beiden Seiten und die Höhe an der Mittellinie als Bezugspunkte genommen, und die Höhe von einem, parallel zur im Rumpf markierten Wasserlinie gespannten Draht, aus gemessen. Mit den üblichen Straktechniken für Rümpfe haben wir die Decksbalken eingestrakt und überall kleinere 25 x 18 mm-Längsstringer in Kerben eingepaßt. Das Deck hatte zu starke sphärische Krümmungen für Sperrholz, so daß wir zwei Lagen 300 mm breite 6 mm starke Sperrholzstreifen darüber auf eine gesamte Decksdicke von 12 mm lamelliert haben.

Bau und Montage von Cockpits

Bevor wir überhaupt Decksrahmen einbauen, bauen wir meistens das Cockpit und stellen es an seiner Position auf. In den meisten Fällen ist es einfacher, Decksrahmen um das Cockpit anzupassen, als das Cockpit an die Decksbalken. Selbst wenn die beiden Methoden gleichbedeutend wären, ist es normalerweise einfacher, das Cockpit auf dem Werkstattboden herzustellen und als komplette Einheit zu montieren, als es aus vielen Einzelteilen unter den beengten Arbeitsbedingungen im Rumpf zusammenzubauen.

Den Bau eines Cockpits beginnen wir immer mit der Herstellung des Cockpitbodens. Der Cockpitboden dient wie der Boden eines Hauses als das Fundament, auf dem man die Wände errichten kann. Wir favorisieren eine Sandwich-Bauweise mit einem Wabenkern für den Cockpitboden, ein standardmäßiger, von einem Rahmengestell ge-

Bild 25.11 – Lamellierte Decksbalken und 25 x 18 mm-Stringer für ein Wulst-förmiges Deck einer Halbtonner-Rennyacht. Man beachte die spätere Mastdurchführung aus Sperrholz für den auf dem Kiel stehenden Mast.

Bild 25.12 – Montiertes Cockpit, das außerhalb des Rumpfes gebaut wurde.

tragener Cockpitboden wie bei einem Deck funktioniert jedoch ebenfalls ganz gut. Nachdem wir den Boden gebaut haben, schneiden wir die Seitenwände aus angemessen starkem Sperrholz aus und kleben diese Teile an den Boden, so daß ein einbaufertiges Cockpit, wie in Bild 25.12 gezeigt, entsteht. Das Cockpit kann natürlich wesentlich weiter als dieses ausgebaut sein, zum Beispiel mit Sitzbänken und darunter angeordneten Stauräumen. Man kann diese Teile auch zufügen, bevor man die ganze Einheit im Rumpf einbaut.

Das Ausrichten des Cockpits im Rumpf ist nicht schwierig. Es muß mittig und in der richtigen Höhe in Bezug auf die Balkweger-Maße, oder – wenn möglich – zu einer Wasserlinie sitzen. Normalerweise befindet sich mindestens ein Schott im Bereich des Cockpits, das man auf die exakten Maße des Cockpits zuschneiden, und so als einen Auflagerpunkt für das Cockpit verwenden kann. Um das Cockpit provisorisch in der richtigen Lage zu fixieren, bis man genügend Decksrahmen installiert hat, die es festhalten, können provisorische Stützen notwendig sein.

Aufbringen des Decksbelags

Zum abschließenden Straken des Rahmenwerks verwendet man im wesentlichen dieselben Methoden wie zum Straken von Rümpfen. Da die Decksfläche im Vergleich zum Rumpf fast eben ist, kann man mögliche Fehler einfach entdecken und korrigieren, so daß das Straken eines Decks viel weniger Schwierigkeiten macht, als bei einem Rumpf. Lange Rauhbankhobel sind ideal zum Straken dieser großen, ebenen Oberfläche, und ein langer Sperrholzstreifen von 2,40 m x 30 cm zeigt an, wie das Sperrholz später auf den verschiedenen Rahmenelementen liegen wird.

Nachdem das Rahmenwerk des Decks ausgestrakt ist, kann der Sperrholzbelag aufgebracht werden. Die Decksstärke ist abhängig von einer Vielzahl Faktoren, wie Bootsgröße und -art, Umfang und Abständen des tragenden Rahmenwerks, der Art der Wartung, die dem Boot zuteil wird. Im allgemeinen muß ein Deck nicht so dick wie eine Rumpfaußenhaut sein. Ein Rumpf muß dick genug sein, um Kollisionen mit schwimmendem Unrat und den ständigen hydrodynamischen Belastungen zu widerstehen. Die größtmögliche Belastung eines Decks entsteht bei großen überkommenden Seen, aber diese enorme Belastung ist, obwohl ehrfurchtgebietend, nicht besonders groß, wenn man die Kraft pro Fläche ausrechnet und mit den Flächen-

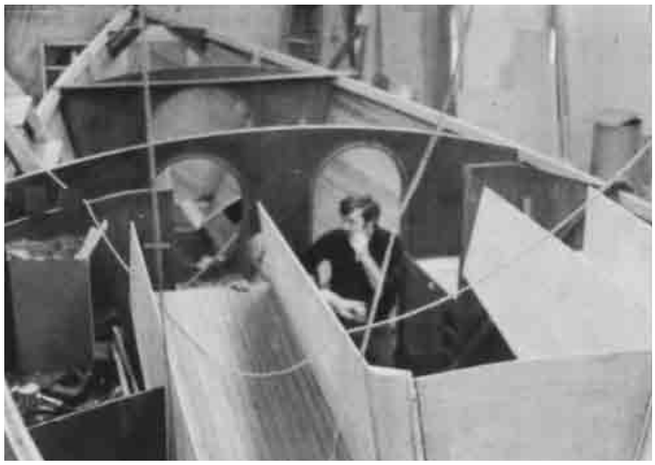


Bild 25.13 – Ungewöhnliches U-förmiges Cockpit der GOLDEN DAZY. Zunächst mit provisorischen Streben und Unterfütterungen ausgerichtet, wird dann das Rahmenwerk des Decks am Cockpit befestigt.

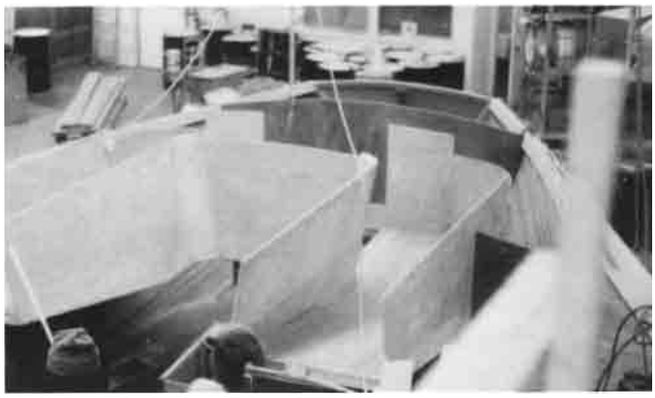


Bild 25.14 – GOLDEN DAZY's Cockpit, vom Bug aus betrachtet.

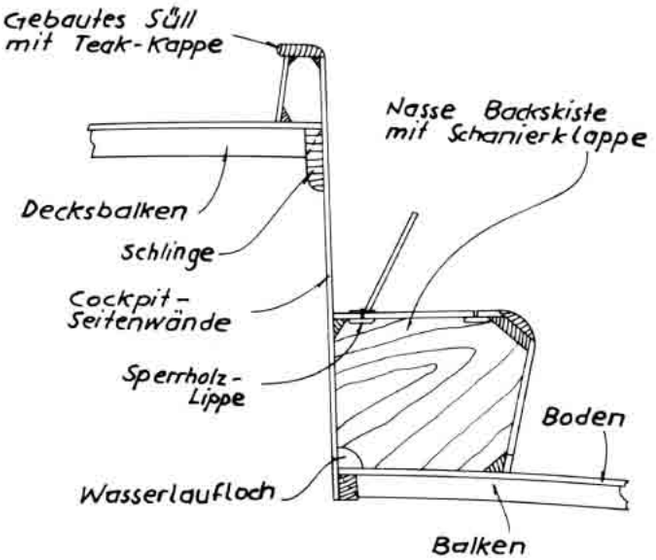


Bild 25.15 – Details einer Cockpit-Sitzbank.

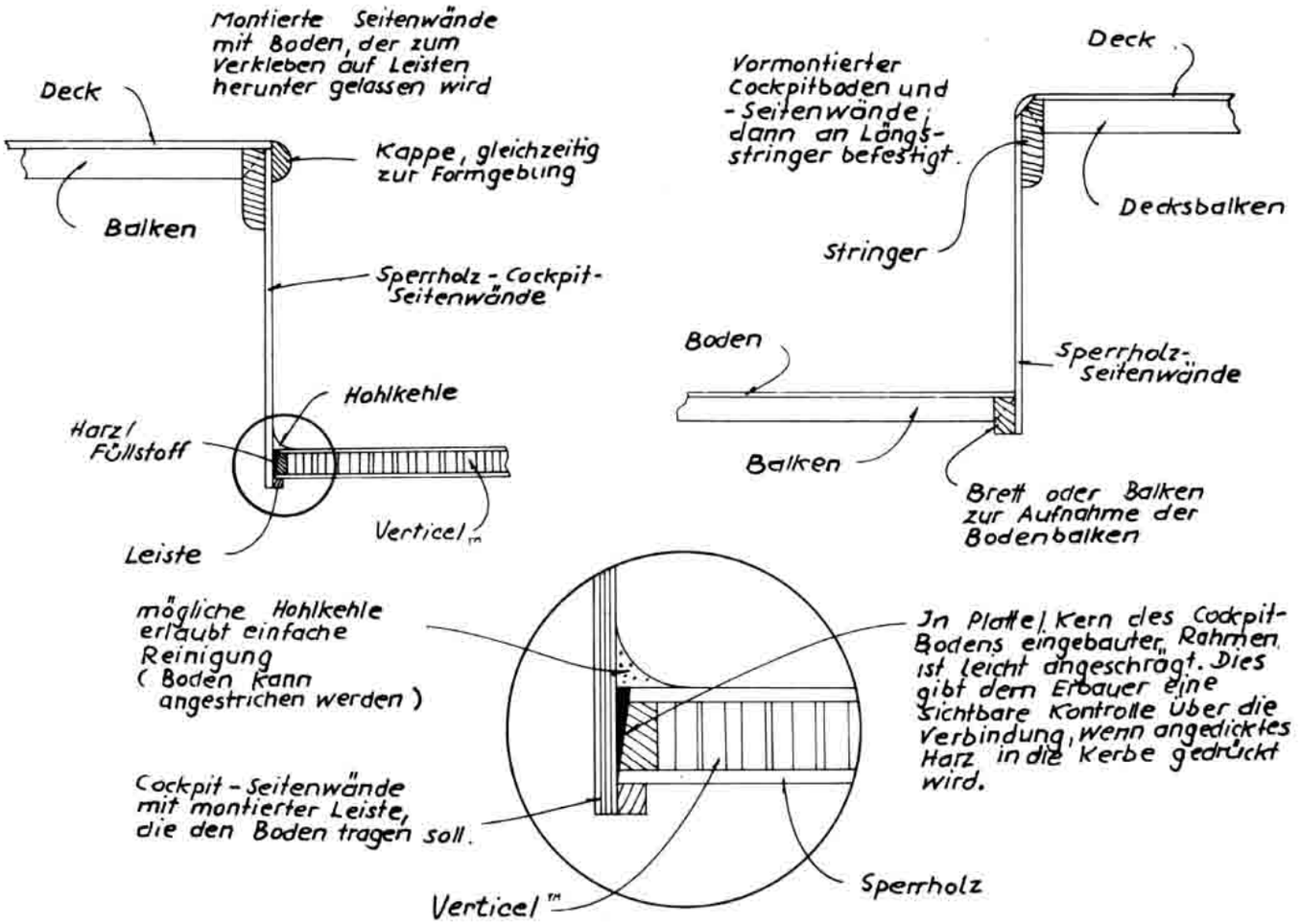

Montierte Seitenwände mit Boden, der zum Verkleben auf Leisten herunter gelassen wird
Deck
Kappe, gleichzeitig zur Formgebung
Balken
Sperrholz - Cockpit-Seitenwände
Hohlkehle
Harz / Füllstoff
Verticel ™
Leiste
Vormontierter Cockpitboden und -Seitenwände dann an Längs-stringer befestigt.
Deck
Decksbalken
Stringer
Boden
Sperrholz-Seitenwände
Balken
Brett oder Balken zur Aufnahme der Bodenbalken
mögliche Hohlkehle erlaubt einfache Reinigung (Boden kann angestrichen werden)
Cockpit - Seitenwände mit montierter Leiste, die den Boden tragen soll.
In Platte / Kern des Cockpit-Bodens eingebauter Rahmen ist leicht angeschrägt. Dies gibt dem Erbauer eine sichtbare Kontrolle über die Verbindung, wenn angedicktes Harz in die Kerbe gedrückt wird.
Verticel ™
Sperrholz

Bild 25.16 – Konstruktionsdetails eines Cockpits.

belastungen vergleicht, denen ein Rumpf ausgesetzt ist.

Für die meisten Decks bedeutet ein Mensch die größte Punktlast, denen sie je ausgesetzt werden. Daher ist unsere Mindestanforderung an ein Deck, daß es so fest und steif ist, daß es sich nicht merklich durchbiegt, wenn darauf gelaufen wird. Ein sich ständig durchbiegendes Deck wird keine große Lebensdauer haben und in einem ungünstigen Moment aufgrund der Wechselbelastungen versagen.

Letztenendes gibt es keine festen Richtlinien für die Decksdicke. Benutzt man dünnes Sperrholz, benötigt man mehr Spanten, und wenn man dickes Sperrholz verwendet, braucht man weniger Spanten. Eine dünne Haut mit einer Anzahl leichter Spanten ist leichter als ein dickes Sperrholzdeck, aber man benötigt auch mehr Zeit für den Bau. Wir haben das Deck der in Bild 25.5 gezeigten 12,80 m langen GOLDEN DAZY aus zwei Lagen 6 mm-Sperrholz und einer Schicht 3 mm-Teak lamelliert. Das sich daraus ergebende 15 mm-Deck war bedeutend dünner als DAZY‘s 28 mm starker Rumpf.

Das Spanten-getragene Deck der ROGUE WAVE, einem 18 m-Trimaran, war andererseits nur 10 mm stark. Viele kleinen Tages-Rennyachten besitzen gut unterstützte 3 – 5 mm starken Sperrholz-Decksbelag. OLLIE‘s Deck besteht beispielsweise aus 5-lagigem 6 mm-Sperrholz über leichten Decksbalken in 180 mm Abständen.

Den Sperrholz-Decksbelag bringt man in derselben Art auf, in der man die Sperrholzplatten auf das Rumpf-Rahmenwerk eines Knickspanters aufbringt. (Siehe Kapitel 22.) Wie bei Rümpfen besteht auch bei Decks das Problem, das sie normalerweise für eine einzige vorgeschäftete Platte zu groß sind. Daher schneiden wir die größtmöglichen Platten aus den 2,44 x 1,22 m Standardplatten zu und verbinden sie vor Ort mit Hilfe eines Decksbalkens oder Stringers als festen Untergrund für die Schäftung auf dem Deck. Man muß damit rechnen, daß die Schäftungen aufgrund der möglichen Hindernisse, wie beispielsweise Kajütwände, Luken oder Cockpit, die berücksichtigt werden müssen, komplizierter sind. Da die Unterseite eines Decks,

Bild 25.17 – Vordeck und Verkleidungen der Beams von ROGUE WAVE bestehen aus Sperrholz über Stringern. Das Deck über dem Kajütenbereich ist eine Sandwich-Konstruktion mit Verticel-Kern.

falls klar lackiert, überall sichtbar ist, sollte man sein Bestes versuchen, um die Schäftungen an Decksbalken oder Schotts zu verstecken.

Bild 25.18 zeigt eine Methode, eine Sperrholzplatte auf einer dreidimensional gekrümmten Fläche anzubringen. Wir klammern das Sperrholz normalerweise entlang gedachter Linien von der Mitte aus zu den Ecken, um Verwerfungen zu vermeiden. Zunächst teilen wir die Platte in Viertel, dann in Achtel und Sechzehntel auf, bis sie auf dem ganzen Umfang befestigt ist.

Das Schäften an Ort und Stelle hat Vorteile, wenn man Sperrholz auf die Decks aufbringt. Wie wir schon zuvor deutlich gemacht haben, besitzen die meisten Decks ein gewisses Maß an sphärischer Krümmung, das einige Montageprobleme hervorrufen könnte, wenn man eine feste Platte auf die gesamte Oberfläche aufbringen wollte. Diese geringe Krümmung wird in den Schäftungen einfach aufgelöst, wenn man mehrere kleineren Platten auf derselben Oberfläche aufbringt.

Sandwich-Decks

Bei bestimmten Bootstypen kann ein Deck in der Sandwich-oder Kernbauweise vorteilhaft sein. Hierbei nutzt man das grundlegende Prinzip, zwei lasttragende Schichten mit einem Kernmaterial auseinander zu bringen. Der wichtigste Vorteil dieses Deckstyps ist die glatte, störungsfreie Unterseite

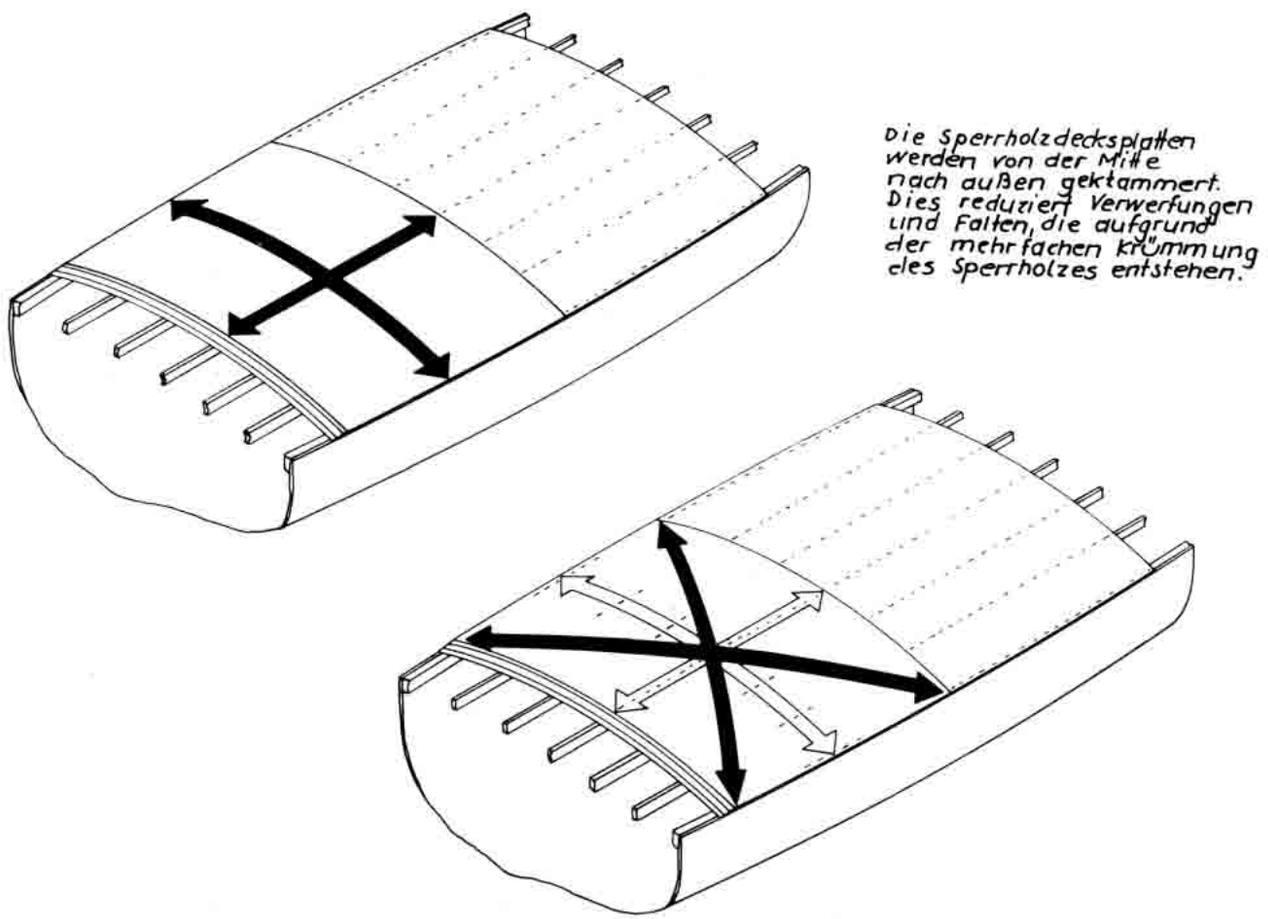


Bild 25.18 – Klammern von Sperrholz-Decksplatten.

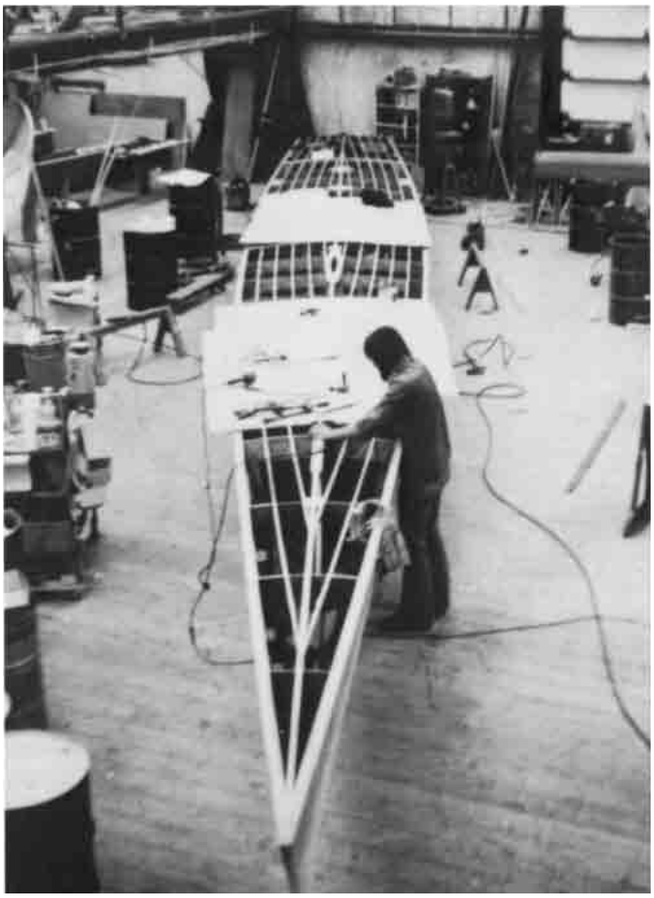


Bild 25.19 – Anpassen und Schäften eines 5 mm-Decks des Hauptrumpfes der Proa SLINGSHOT. Man beachte Konsolen und Auffütterungen zur Aufnahme von Beschlägen, die an Stringern und Spanten befestigt sind.

des Decks. Die Abwesenheit irgendeiner Art von Rahmenwerk ergibt eine einfach zu behandelnde Oberfläche, die nach ihrer Fertigstellung auch leichter zu reinigen ist. Zusätzlich dazu bietet ein Sandwich-Deck eine bedeutende Verbesserung des Wärme-und Lärmisolierungsverhaltens gegenüber dem normalen Rahmen-getragenen Deckssystem. In heißen Klimazonen kann ein Deck, das keine Wärme überträgt, ein stichhaltiges Argument sein. Mit der Sandwich-Technik ist es auch möglich, Decks leichter zu bauen; dies hängt jedoch von der Anwendung ab. Unserer Meinung nach ist es sehr schwierig, das Gewichts-Festigkeits- oder Gewichts-Steifigkeits-Verhältnis im Vergleich zu einem gut konstruierten Rahmen-getragenen Deckssystem zu verbessern.

Sandwich-Decks werfen zusätzliche Schwierigkeiten beim Bau auf. Bei den meisten Booten braucht man für den Bau eines Sandwich-Decks länger als für ein normales, und es ist wohl für ungeübte Leute noch schwerer durchzuführen. Ein praktischer Nachteil eines Sandwich-Decks ist die eingeschränkte Vielseitigkeit bei der Montage von Decksbeschlägen. Bevor man das Sandwich-Deck fertigstellt, muß man die Positionen sämtlicher Beschläge kennen, damit man das Kernmaterial in dem entsprechenden Bereich entfernen und durch angemessene massive Auffütterungen ersetzen kann. Wenn man später ein paar Beschläge zufügen oder andere versetzen möchte, wird es sehr schwierig. Bei dem offenen Rahmen-Deck kann man mit Leichtigkeit Auffütterungsstücke an der Untersseite des Decks hinzufügen, wo sie gerade benötigt werden.

Bild 25.20 zeigt ein Deck in der Sandwich-Bauweise, wie es als Achterdeck eines großen Mehrrumpfbootes eingesetzt wurde. Dies ist eine gutes Anwendungsbeispiel für ein Sandwich-Deck, da nur eine leichte Decksbalkenbucht vorhanden ist und sehr wenige Beschläge eingebaut werden sollen. Dieses Boot wird einen großen Teil seiner Zeit in tropischen Gewässern verbringen, wo die zusätzlichen Isolierungseigenschaften wertvoll sind. Wir haben den Bau des Decks außerhalb des Rumpfes auf einer vorher an den Decksumfang angepassten, vollständig geschäfteten 3 mm dicken Sperrholzplatte begonnen, die wir zur weiteren Bearbeitung auf eine ebene Fläche gelegt haben. Darauf haben wir aus 20 mm starken Leisten gesägte Decksbalken, die auf ihrer Oberseite ein wenig Decksbalkenbucht aufwiesen, alle 600 mm quer ausgerichtet. Wir haben einen Längsträger entlang der Mittellinie eingebaut, indem wir die Zwischenräume mit 600 mm langen Stücken derselben 20 mm starken Leisten aufgefüllt haben. Dann haben wir dieses teilweise fertiggestellte Deck mit falschen Balkwegern auf den Rumpf gesetzt. Als nächstes wurde

Bild 25.20 – Achterdeck der ROGUE WAVE mit 75 mm dickem Verticel-Kern zwischen Sperrholzplatten.

der Verticel[R]-Wabenkern zwischen die Holzrahmen unter Verwendung einer sirupartigen Klebermischung nur an den Sperrholzboden geklebt. Den Verticel-Kern haben wir dann mit langen Schleifbrettern mit Schleifpapier mit 50er-Körnung in die vorgesägten, mit Decksbalkenbucht versehenen, Holzrahmen eingestrakt. Dann haben wir lange Latten benutzt, um die gesamte Decksfläche auszustraken, wobei alle zu hohen oder zu tiefen Stellen in den Holzelementen korrigiert wurden. Schließlich haben wir 6 mm starkes Sperrholz auf diese gestrakte Fläche geklebt, wobei wir optimal genutzte 2,44 x 1,22 m Standardplatten mit vorgeschnittenen Schäftungsstellen verwendet und die verschiedenen Platten direkt auf dem Deck miteinander verbunden haben.

Ein weiteres Sandwich-Deckssystem wird in Bild 25.21 gezeigt. Dieses Deck eines 7,90 m-Einrumpfbootes lag auf ebenem Fußboden. Wir haben den exakten Umriß des gesamten Decks auf dem Boden aufgezeichnet und dann auf eine vorgeschäftete 3 mm dicke Sperrholzplatte, die an ihrer Unterseite vorbehandelt worden ist , übertragen. Dann haben wir die Öffnungen für die Vorderluke, den Aufbau und das Cockpit ausgeschnitten. Als nächstes haben wir die so vorbereitete Grundplatte mit 6 mm dicken Sperrholzquerträgern ausgestattet, deren Mittenabstände 75 mm betrugen. Diese Träger haben wir zum größten Teil aus Sperrholzresten ausgeschnitten, wozu wir vorher auf jedem einzelnen Träger mit der mechanischen Anzeichen-Methode die korrekte Decksbalkenbucht in einer Art Serienfertigung angerissen haben. Obwohl dieser Teil sehr arbeitsintensiv aussieht, wurden die benötigten 104 Querträger von einem Mann an einem einzigen Tag ausgeschnitten.

Bild 25.21 – Reststreifen von Sperrholz werden hier für das Rahmenwerk des Kerns eines Sandwich-Decks benutzt.

Die Montage der Querträger auf der Sperrholzoberfläche war einfach, da die einzelnen Träger auf vormarkierte Positionen geklebt wurden. Wir trugen dazu eine Raupe angedickten Klebers auf die Unterkante der Träger auf, stellten sie an die entsprechenden Positionen und fixierten sie mit Hilfe von provisorischen Klammern an den Enden der Träger, bis der Kleber ausgehärtet war. Zwischen Träger und Platte haben wir kleine Hohlkehlen gebildet, indem wir den herausgquetschten Kleber in einem Radius geglättet haben. Diese vorgefertigte Decksbasis haben wir dann auf den Rumpf (Bild 25.21) aufgelegt und mit den Balkwegern verleimt. Die Seitenwände des Aufbaus, ein vorgefertigtes Cockpit, Lukenrahmen und sämtliche Auffütterungen für die Beschläge wurden vor dem Straken zum Aufbringen des Decksbelags montiert. Zum abschließenden Straken verwendeten wir lange Schleifbretter mit Schleifpapier von 50er Körnung und einen Handhobel, um einen zu hohen Spant oder zu hohe Auffütterungen beizuputzen.

Nachdem wir mit dem abschließenden Straken fertig waren, belegten wir das Deck mit 6 mm-Sperrholz, wobei der Anpressdruck lediglich am Rand, also den Balkwegern, Luken-, Aufbau- und Cockpitkanten usw., aufgebracht wurde. Aufgrund der natürlichen Deckswölbung benötigten wir nur ganz geringen Druck, um das Sperrholz dicht an den Rippen zu halten. In Bereichen, in denen der Kontakt zwischen Deck und Rippen nicht auszureichen schien, brachten wir Gewichte auf, die das Deck andrückten, bis der Kleber aushärtete. Schäftungen führten wir an Ort und Stelle durch, damit wir nur Platten der Standardgröße jeweils auf einmal aufbringen mußten. Sämtliche Schäftungen haben wir so ausgerichtet, daß sie auf eine Rippe fielen. Das Auftragen des Klebers auf die nur 6 mm breiten Kanten der 104 Rippen war eine langwierige Aufgabe, bei der wir gewöhnliche Sahnespritzbeutel verwendeten. Mit einem Spritzbeutel kann man eine ziemlich dickflüssige Klebermischung in kontrollierbaren Mengen und an den richtigen Stellen auftragen, so daß man die beste Verbindung zwischen den Decksbalken und der Decksoberfläche gewährleisten kann.

Auffütterungen für Beschläge

Beschläge können extrem hohe Spannungskonzentrationen auf einem Deck bewirken, die angemessen auf die gesamte Struktur verteilt werden müssen. Manche Beschläge sind da sensibler als andere: die Auffütterungen für eine wichtige Winsch müssen bedeutend stärker sein als für eine

einfache Klampe. Es ist schwierig, den Umfang von Auffütterungen zu bestimmen; um sich ein Urteil bilden zu können, errechnet man die Belastung und deren Richtung – direkt nach oben oder parallel zum Deck beispielsweise –, die an einem bestimmten Beschlag auftreten. Die Auffütterungen sind integraler Bestandteil der in Kapitel 26 beschriebenen Klebetechniken für Beschläge.

Bei Rahmen-getragenen Decks werden die Auffütterungen normalerweise so eingebaut, daß sie bis zu den umgebenden Rahmenelementen durchgehen und mit diesen Teilen sorgfältig verleimt werden, um die beste Lastverteilung zu erhalten. Daher kann das Rahmenmuster die Lage der Beschläge beeinflussen. Die ideale Lage einer Winsch, wie in Bild 25.22 gezeigt, ist in der Mitte von Rahmen, mit dem Ziel, die Last auf ein möglichst großes Gebiet zu verteilen. Läge die Winsch näher an einer Seite der Auffütterung, würde das Lastverteilungspotential des Rahmenwerks verringert werden, da die Last dann hauptsächlich in das nächste Rahmenelement eingebracht würde.

Aufgrund seiner mehrdirektionalen Struktur ist Sperrholz ein ausgezeichnetes Auffütterungsmaterial, wenn es um die Lastverteilung auf ein möglichst großes Gebiet geht, und es wird in den meisten Situationen verwendet. Zur Auffütterung kann man gut die anfallenden Reststücke verwenden. Man kann auch normale gesägte Holzklötze als

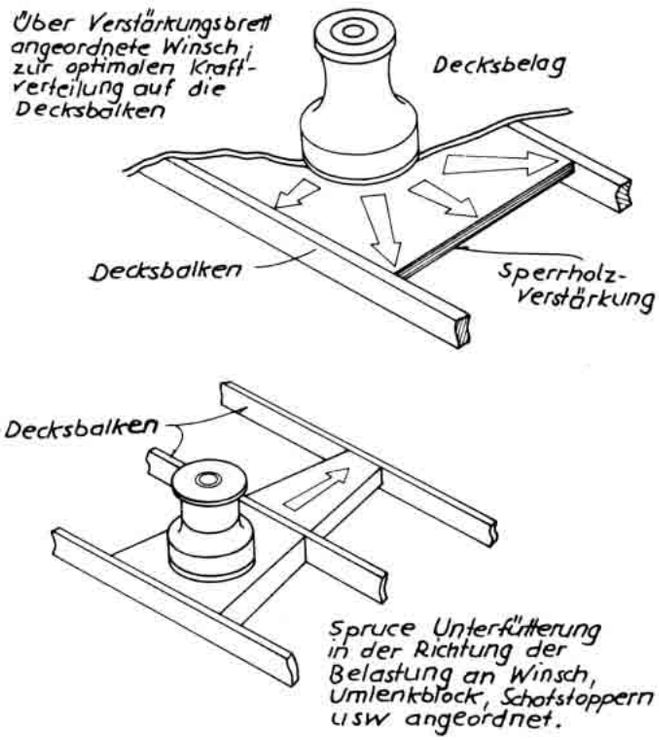

Über Verstärkungsbrett angeordnete Winsch zur optimalen Kraftverteilung auf die Decksbalken
Decksbelag
Decksbalken
Sperrholz-Verstärkung
Decksbalken
Spruce Unterfütterung in der Richtung der Belastung an Winsch, Umlenkblock, Schotstoppern usw angeordnet.

Bild 25.22 – Auffütterung für Beschläge.

Bild 25.23 – Gesägte und mit dem Deckskem und allen strukturellen Spanten verleimte Sitka Spmce Auffütterungen, mit dem Deck fluchtend beigehobelt. Man beachte den Auffütterungsstreifen für Genuaschiene am linken Bildrand.

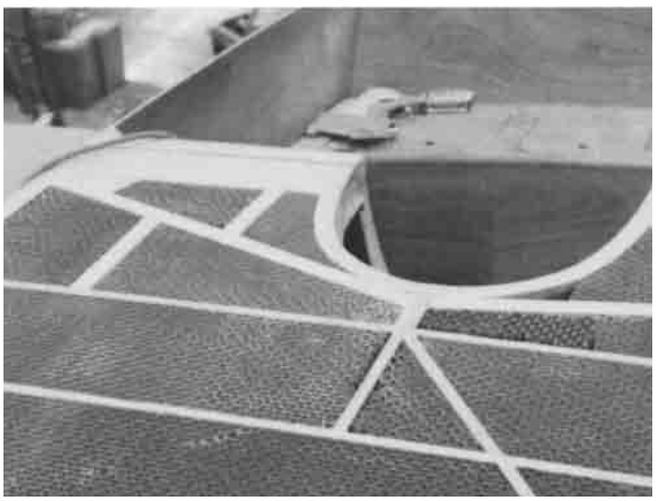


Bild 25.24 – Sämtliche Lücken zwischen den Auffütterungen des in Bild 25.23 gezeigten Decks wurden mit Wabenmaterial gefüllt, bevor das Deck aufgelegt wurde.

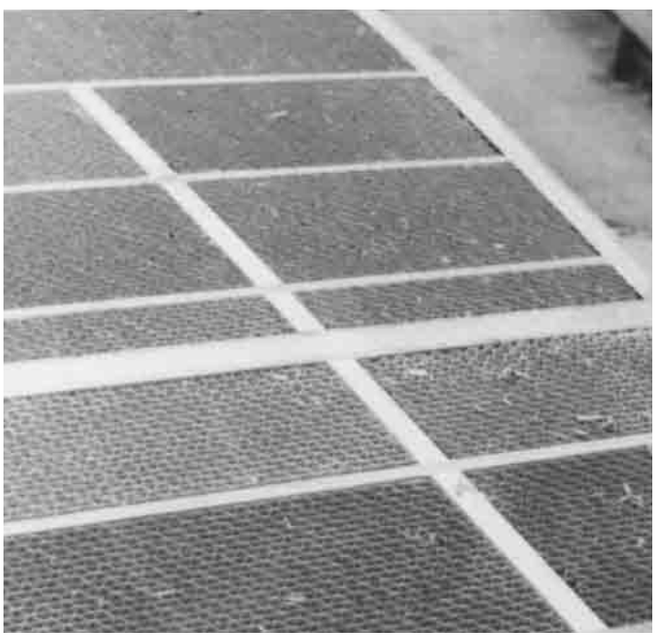


Bild 25.25 – Sandwich-Deck mit Rahmen und Verticel an Ort und Stelle.

Auffütterungsstücke verwenden, insbesondere, wenn man die Lasten in einer bestimmten Richtung verteilen möchte, wie bei Genuaschienen zum Beispiel. Im Gegensatz zur alten Technik verwenden wir keine Harthölzer zur Unterfütterung, sondern bedienen uns weicher Hölzer, wie Sitka Spruce oder Douglas Fir. Diese weichen Hölzer sind ausreichend, wenn man mit den im nächsten Kapitel beschriebenen Befestigungstechniken für Beschläge arbeitet.

Die meisten Auffütterungen sind am einfachsten einzubauen, bevor die abschließende Sperrholzlage aufgebracht wird. Bei Sandwich-Decks muß die gesamte Auffütterung abgeschlossen sein, bevor die letzte Sperrholzschicht aufgebracht wird. Oft ist es wesentlich einfacher, die Unterfütterungen an das nackte Rahmenwerk anzupassen, einzubauen und beizustraken, als sie von unten an das eingedeckte Deck anzupassen. Manchmal ist es jedoch schwierig, das Deckslayout schon endgültig festzulegen, bevor das Deck vollkommen fertig ist, so daß man es eine Zeitlang studieren kann. Trifft dies zu, ist man mit Sicherheit besser dran, wenn man die Unterfütterungsstücke erst später von unten in das fertige Deck einbaut, als es erst falsch einzubauen und die unnötigen Klötze wieder herauszustemmen (falls es Ihnen wie uns geht und es nicht ertragen können, mit überflüssigem Gewicht zu segeln).

Aufbauten

Im Sinne der Konstruktion ist ein Kajütaufbau eigentlich eine Erweiterung des Decks. Er vergrößert die ständige Steh höhe und bietet Platz zur Unterbringung von Fenstern oder Öffnungen, die für Licht und Belüftung unter Deck sorgen. Kajütaufbauten werden normalerweise erst montiert, nachdem das Deck fertig ist. Daher entwirft man das Deck mit den entsprechenden Öffnungen für die Kajüte und sorgt für angemessene Rahmen um die Öffnung, an denen man die Seitenwände befestigen kann. Dies sollte man mit der gewünschten Schmiege für die Seitenwände versehen.

Sperrholz ist das am weitesten verbreitete Material zur Herstellung der Aufbauwände. Es sollte dick genug sein, daß es von alleine, ohne zusätzliche Tragekonstruktionen, bei geringster Verformung steht. Man kann die Wände aus mehreren Lagen von Sperrholz oder Furnier lamellieren, um eine gewünschte vorgebogene Form zu erhalten, die aus einer einzigen dickeren Sperrholzschicht nur schwer herzustellen wäre. Die Vorderwand wird üblicherweise lamelliert, um schöne Rundungen zu erhalten und den Windwiderstand zu verringern. Wie bereits in Kapitel 20 erwähnt, kann man Kabinen auch mit Leisten-Verbundbauweisen herstellen.

Das Anpassen der Kajütwände ist manchmal etwas trickreich. Es ist sinnvoll, eine Schablone aus billigen Vertäfelungsplatten zu machen und vor dem endgültigen Anpassen und Einbauen die Kajütwände sorgfältig und exakt nach der Vorlage auszuschneiden. Es ist üblich, zunächst die Seitenwände zuerst einzubauen und dann die Ecken mit angemessenen Holzlaschen zu verbinden, die angemessene Klebeflächen für eine starke Verbindung bieten.

Der schwierigste Part beim Bau von Aufbauten ist die Bestimmung der Randlinie des Kajütdachs. Diese Abmessungen kann man nur schwer aus den Zeichnungen entnehmen. Das ist deshalb von Bedeutung, weil je nach Art und Form ein paar der endgültigen Abmessungen vom Dach diktiert werden. Für ein Spant-getragenes Dach stellt man die Balken genau wie für ein normales Deck her. Das Rahmenwerk bedeckt man mit Sperrholzplatten, Sperrholzstreifen oder Furnier.

Da Kajütdächer kleiner sind und manchmal stärker sphärisch gekrümmte Linien aufweisen als Decks, bieten die Sandwich-Bauweise oder formverleimte Kajütdächer hier interessante Alternativen zum Spant-System. Beide Methoden ergeben maximale Stehhöhe bei einer glatten Unterseite, die keine Balken aufweist, an denen man sich den Kopf stoßen kann. Das einzige Problem bei diesen Optionen besteht darin, daß sie zunächst über einer Form bauen muß, und dann erst an den Wänden anpassen kann. Daher lassen wir die Kajütwände nackt, ohne Balkweger, bis das Dach perfekt angepaßt worden ist und auf allen vier Wänden aufliegt. Zu diesem Zeitpunkt montieren wir ein Verbindungs-

Bild 25.26 – Über der Kajüte und in der Kajüte befindlichen provisorischen Mallen gebautes Kajütdach. Kleine 12 mm breite mal 18 mm hohe Rippen wurden über der inneren Lage in 100 mm-Abständen von Mitte zu Mitte lamelliert und dann glatt gestrakt. Die Auffütterung für eine Vorsegel-Schiene wurde an der Kante der Kajüte eingefügt und dann eine 5 mm starke Lage auf das Dach geleimt.

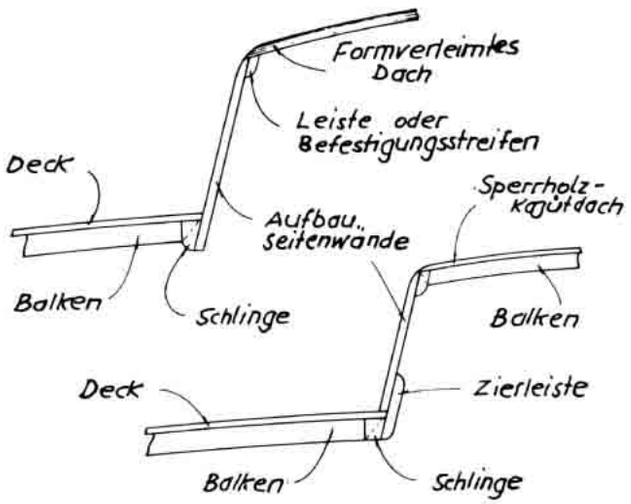


Bild 25.27 – Konstruktionsdetails von Kajütseiten und -dächern.

element, ähnlich einem Balkweger, entlang des neu entstandenen Randes der Wände, damit wir das Kajütdach mit guter Klebefläche fest einbauen können.

Ein formverleimtes Kajütdach, das nur 12 mm dick ist, ist ziemlich fest, insbesondere, wenn es eine räumlich gekrümmte Fläche ist. Diese Art Kajütdach kann man einfach über einem, zuvor in der gewünschten Form gebauten, Leistenblock aus mehreren Furnierschichten verleimen. Die Innenseite dieses formverleimten Daches kann man vor dem Einbau komplett endbehandeln.

Bei der Konstruktion eines Aufbaus denkt man sinnvollerweise immer an Art und Umfang der Beschläge, die man auf dem Dach installieren möchte. Falls größere Winschen auf die Ecken eines Aufbaus montiert werden sollen, sollte man die gesamte Aufbaustruktur so auslegen, daß die zusätzlichen Lasten aufgenommen werden können. Man muß an den richtigen Stellen für angemessene Unterfütterungen der Beschläge sorgen. Dabei sollte man darauf achten, daß die Unterfütterungsstücke schön aussehen, da sie sich an Stellen befinden, wo sie ständig sichtbar sind.

Decks-Finish

Das Deck wird genauso zum Beschichten oder Überziehen mit Gewebe vorbereitet wie der Rumpf, nur daß der allgemeine Strak des Decks normalerweise nicht von so großer Bedeutung ist. Die zwei wichtigsten Kriterien für eine fertige Decksoberfläche sind Attraktivität und Sicherheit. Eine rutschfeste Decksoberfläche trägt zu sicheren und effizienten Bewegungsabläufen der Mannschaft bei.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, rutschfeste Decksoberflächen herzustellen. Der einfachste ist vermutlich, ein handelsübliches Anti-Rutsch-Farbsystem zu kaufen, das sich über WEST SYSTEM Markenepoxidharz und/oder Gewebe verarbeiten läßt. Der allgemeine Vorgang ist, ein Anti-Rutsch-Substrat mit der Farb-Basis in einem vorgeschriebenen Verhältnis zu vermischen und auf die angeschliffene Harzoberfläche aufzutragen. Obwohl die Idee, Rutschfest-Material direkt in das Epoxidharz zu mischen, vielversprechend zu sein scheint, sind die Versuche damit normalerweise nicht erfolgreich gewesen. Das aus 100% Feststoffanteilen bestehende Harz neigt dazu, das Anti-Rutsch-Substrat zu überdecken, so daß dessen Wirkungsgrad verringert wird. Auf nicht angeschliffenes Harz aufgetragene Farbe haftet nicht so gut, und wenri man das Harz anschleift, um die Haftungseigenschaften der Farbe zu verbessern, vermindert man wiederum die Anti-Rutsch-Wirkung.

Manche unserer Kunden haben eine Alternative zum Vermischen von Farbe und Anti-Rutsch-Substrat entdeckt, bei der man große Mengen von Ballastsand, wie er in Hobby-Läden für den Landschaftsmodellbau geführt wird, über nasses Epoxidharz streut. Hierzu klebt man den Umriß des rutschfesten Bereichs ab. Die eingeschlossene Oberfläche beschichtet man nun mit Harz und gießt direkt danach eine 6 mm dicke Sandschicht auf diese Fläche. Sobald das Epoxidharz ausgehärtet ist, bürstet und saugt man den überflüssigen Sand weg, und streicht die Fläche die überall rauh ist. Man soll den Sandballast großzügig aufgießen, damit keine glänzenden Stellen zwischen den Partikeln verbleiben, weil sie die Haftung zwischen Harz und Farbe vermindern können.

Man kann auch 200 g/m^2 oder 340 g/m^2-Glasfasergewebe verwenden, um ein weniger rauhes Deck zu erhalten. Dazu deckt man Flächen, die glatt bleiben sollen, mit Plastik ab. Dann verlegt man das Gewebe mit den in Kapitel 12 beschriebenen Methoden, entfernt aber sämtliches überflüssiges Harz mit einem Plastikspachtel. Die Gewebestruktur bietet die gewünschte Anti-Rutsch-Haftung, so daß man sie offen läßt. Wenn das Harz ausgehärtet ist, rauht man den Bereich mit Wasser und 3M Scotch Brite® oder Stahlwolle auf, bis der gesamte Bereich stumpf ist. Danach wird die Glas-beschichtete Fläche lackiert.

Ein weiterer Vorschlag für ein rutschfestes Deck ist der im Handel erhältliche Treadmaster® Decksbelag. Dieses Material läßt sich leicht mit einer angedickten Klebermischung auf WEST SYSTEM Harz-Oberflächen aufkleben. Man kann diesen

zusätzlichen Decksbelag in verschiedenen Farben kaufen und in geschmackvollen Mustern aufbringen, wo ein rutschfester Belag erforderlich ist. Die Nachteile dieses Materials sind die zusätzlichen Kosten und das zusätzliche Gewicht, das bei einem kleinen Boot von Bedeutung sein kann. Treadmaster ist ein flexibles Material, das keine Festigkeit oder Steifigkeit bringt.

Verlegen eines Teak-Decks mit Furnierstreifen

Eine sehr ansprechende und funktionelle Decksoberfläche läßt sich auf einem dichten Sperrholzdeck durch das Aufbringen einer Lage Teakholz-Furnier herstellen. Diese Furnierschicht wird 3 – 5 mm stark werden, genug für eine dauerhafte, selbst bei starker Beanspruchung lange haltbare Oberfläche. Die Methoden, die wir zum Aufbringen dieser Teak-Oberfläche benutzt haben, werden im folgenden beschrieben.

Die Sperrholzoberfläche des Decks wird in der üblichen Weise mit mindestens zwei Anstrichen WEST SYSTEM Harz beschichtet, bevor die Teak-Streifen aufgebracht werden. Dies macht man, damit eine optimale Feuchtigkeitssperre direkt unter der Teak-Schicht gewährleistet wird, die das Sperrholzdeck und seine Versteifungen vor Feuchtigkeit schützen. Nach dem Aushärten wird die Harzschicht leicht angeschliffen.

Bevor das Verkleben beginnt, muß das Muster der Verlegung der Teak-Streifen festgelegt werden. Nach alter Tradition werden Teak-Decks parallel zu der Linie verlegt, die parallel zu der halben Decksbreite verläuft. Wir haben aber auch Teak-Decks parallel zur Mittschiffslinie verlegt, was ein sehr attraktives Bild ergab und auch sehr praktisch ist, da die Teak-Streifen auf diese Weise die Druckfestigkeit des Deck erhöhen. Die künstlerischen Möglichkeiten der Decksgestaltung sind keine Grenzen gesetzt. (Siehe Bild 25.28)

Bild 25.28 – Blick auf Teak-Deck, Mahagoni-Leibholz und Cedar-Außenhaut der GOLDEN DAZY. Alle drei Holzsorten sind nicht dicker als 4 mm und mit provisorischen Klammern verleimt. Man beachte die Teakholz-Fußreling mit Wasserlauflöchern.

Das Teakholz sollte man so zuschneiden, daß die Streifen etwa 0,5 – 1,5 mm dicker als die gewünschte Schichtdicke werden, da man das abschließende Schleifen einkalkulieren muß. Die Breite der Streifen kann so gewählt werden, daß die vorhandene Holzrohware mit dem geringsten Verschnitt ausgenutzt werden kann. Meistens kaufen wir unser Teakholz in etwa 50 mm dicken, roh gesägten Planken ein, aus denen wir dann Streifen mit einem Fertigmaß von 45 mm schneiden. Dieses Holz hat dann stehende Jahresringe. Das vermindert das Schrumpf- und Ausdehnungspotential (bei Teak sowieso gering) und ergibt eine ansprechende, gleichmäßiger auf Abrieb reagierende Oberfläche als bei liegenden Jahresringen. Am einfachsten erreicht man diesen Schnitt, indem man das Holz in 50x50 mm große Stäbe zersägt, die sich beim Sägen in die beste Richtung drehen lassen, in der man Streifen mit stehenden Jahresringen schneiden kann. Äußerst wichtig ist es, die Planken auf exakt dieselbe Breite zu sägen und die Kanten rechtwinklig zu besäumen. Die Dicke des Holzes spielt keine große Rolle, die Leisten können in dieser Richtung also roh zugeschnitten werden und brauchen keine Bearbeitung mit dem Dickenhobel. Die gleichmäßige Stärke ergibt sich später beim Schleifen. Sinnvoll ist eine Plankenlänge von 1,5 – 4 m; größere Längen sind beim Verlegen sonst zu unhandlich.

Als nächstes folgt nun die Zubereitung des Klebers als einer Mischung aus schwerem Füller (404) und 423 Graphitpulver. Den schweren Füller mischt man bis zu einer dicken, sirupartigen Konsistenz und dann das Graphitpulver in einem Verhältnis von 5 – 10 Volumenprozent bei. Dies ist genug, um dem Harz die traditionelle schwarze Farbe der Fugen zwischen den Teak-Streifen zu geben, und, was viel wichtiger ist, das Epoxidharz vor den UV-Strahlen zu schützen. Falls man zuviel von dem Zuschlagstoff 423 verwendet, kann es Schwierigkeiten mit überflüssigem Graphitpulver geben. Obwohl wir niemals wirklich Schwierigkeiten mit Teakholz gehabt haben, sind manche Teakholzsorten schwer zu verleimen. Daher sollte man, bevor das Deck selbst bearbeitet wird, einige Klebeversuche mit dem Holz durchführen, das man verwenden möchte. Das Aufbringen beginnt damit, daß die Unterseiten der einzelnen Leisten und die entsprechende Decksfläche satt mit der Klebermischung

eingestrichen werden. Über ein Zuviel an Harz braucht man sich dabei keine Gedanken zu machen. Wie wir noch sehen werden, geht sehr wenig Harz verloren. Zwischen den Streifen läßt man ca. 4 mm breite Fugen frei, die ein traditionelles Bild ergeben und zur Gewährleistung einer absolut 100%igen Dichtung zwischen den Kanten der einzelnen Planken beitragen. Wenn kein oder zu wenig Harz in die Fuge fließt, hat man einen direkten Hinweis auf ein möglicherweise Harz-armes Gebiet.

Zur Einhaltung von gleichmäßigen Fugen zwischen den Streifen stellt man sich Abstandshalter her, die man beim Verlegen dazwischen klemmt. Wir bauen unsere Abstandshalter gewöhnlich aus Plastik, wie ABSR, an dem das Harz keine Haftung eingeht und leicht wieder entfernt werden kann. Wenn man längere Planken benötigt, verwendet man Stumpfstöße zur Verlängerung. Die Enden der Planken werden dazu auf einer Gährungslehre oder mit einer Abläng-Säge rechtwinklig abgeschnitten, damit sie flach aufliegen, und streicht sie satt mit dem Kleber ein. Die Verbindungen werden so versetzt angeordnet, daß sie ein ansprechendes Bild ergeben.

Es gibt viele Wege, die Streifen bis zum Aushärten des Klebers zu fixieren. Die Zielsetzung ist eindeutig und es kann jedes Verfahren angewendet werden, wenn man die Ziele im Sinn hat. Die Leisten müssen mit dem Kleber Kontakt haben und es sollten, damit keine Wasserschäden entstehen, auch keine Löcher im Deck sein. Man kann 12 mm lange Bronze- oder Niro-Klammern mit breiten Rücken verwenden, Aluminiumklammern scheiden aus, weil sie für das Teak zu weich sind. Man sollte versuchen, so wenig Klammern wie möglich zu verwenden – durchschnittlich alle 20 cm eine Klammer in der Mitte der Leisten, und in stärker gebogenen Bereichen etwas mehr, sind wohl ausreichend. Wenn das Epoxidharz ausgehärtet ist, kann man Bronze-Klammern abkneifen; Stahl-Klammern sollte man herausziehen.

Die Bronze-Klammern können manchmal aus der Oberfläche hervortreten, und es ist durchaus denkbar, daß durch die Löcher der Stahlklammern Wasser eindringen kann, so daß man vielleicht eine etwas zeitraubendere Methode zum Fixieren der Leisten anwenden möchte. In den Fugen zwischen den Planken verwenden wir manchmal kleine Blechschrauben und Unterlegscheiben, die beide vorher mit einem Trennmittel behandelt wurden. Durch die Scheiben werden die Kanten der Leisten heruntergedrückt und bis zum Aushärten des Klebers sicher fixiert. Danach sind sie einfach zu entfernen. Eine andere Technik, die bei Sandwich-

Bild 25.29 – Deck einer 7.90 m LUDERS 16 mit Deckbalken, fertig für die Sperrholzabdeckung.

Bild 25.30 – LUDERS 16 Deck mit einer 6 mm dicken Schicht aus 5-lagigem Gabun-Sperrholz. Der Teakholz-Belag trägt zur Festigkeit und Steifigkeit bei.

Bild 25.31 – Verlegen von Teakleisten parallel zur Seite Deck, angefangen entlang der Außenkante Deck, zur Decksmitte fortschreitend. Dieses Deck hat positiven Sprung.

decks besonders effektiv ist, benutzt beim Verlegen ungefähr alle 20 cm selbstschneidende Schrauben in der Mitte der Planken. Wenn das Harz ausgehärtet ist, entfernt man die Schrauben, versenkt die Löcher und verpfropft sie.

Wenn die Planken liegen, sieht das Deck meistens fürchterlich aus, mit verschmiertem schwarzen Kleber über dem rohen Teak, aus dem, falls sie verwendet wurden, die Köpfe der Klammern herausstehen. Als erstes werden nun die überstehenden Klammern entweder gezogen oder mit einem scharfen Seitenschneider abgekniffen. Hat man Schrauben und Unterlegscheiben oder selbstschneidende Schrauben verwendet, entfernt man sie jetzt. Als nächstes wird das gesamte Deck mit 50er Schleifpapier und einem Bandschleifer oder einem

Bild 25.32 – Decksbeplankung und abschließende Schleifarbeiten fertig. Man beachte das Fischgrätmuster, wo sich die Planken in der Bootsmitte treffen. Man beachte außerdem, daß das Teakholz erst einige Zentimeter innerhalb der Deckslinie anfängt und von lackierten Leibhölzem aus dekorativen Zwecken eingerahmt wird.

Tellerschleifer mit gutem Schaumteller oder dünner Sperrholz/Plastik-Auflage grob beigeschliffen. Tellerschleifer sind speziell für solche Aufgaben entwickelt und leisten gute Arbeit. Die abgekniffenen Bronze-Klammern lassen sich genausogut wie das Teak schleifen, und da sie auch noch eine ähnliche Farbe haben, sind sie aus einiger Entfernung nicht mehr zu erkennen.

Nach dem Vorschleifen ist das Teak-Deck bereits ziemlich glatt, aber man wird noch einige Stellen entdecken, an denen in den Fugen noch Lücken und Spalte zu erkennen sind. Diese Lunker werden nun mit einer Harz-Spachtelmasse glatt aufgefüllt, so daß auf dem gesamten Deck keine Lücken mehr existieren. Für diesen Spachtel mischt man colloidales Silica (406) in das Harz, bis eine cremige Konsistenz erreicht ist. Dazu mischt man Graphitpulver wie bei der Klebermischung. Dies spachtelt man gleichmäßig in die Lunker und entfernt überflüssigen Spachtel, um den Schleifaufwand so gering wie möglich zu halten.

Nachdem die beigespachtelte Fläche ausgehärtet ist, folgt der Endschliff mit 80er Schleifpapier. Für diese Arbeit ist ein Tellerschleifer mit Schaumteller geeignet, damit eine schöne, glatte Fläche entsteht. Ein weiteres praktisches Gerät für den Endschliff des Teakdecks, insbesondere in schwer zugänglichen Bereichen, ist ein moderner druckluftgetriebener Tellerschleifer (wie in Kapitel 4 beschrieben). Leider ist es unvermeidlich, gerade um die Luken und Aufbauten herum, mit dem Schleifklotz von Hand zu schleifen.

Nachdem man die letzten Schleifarbeiten abgeschlossen hat, ist die Decksoberfläche fertig. Es verbleibt nichts weiter als die Beschläge zu montieren. Falls man mit Harz oder Farbe auf dem Teakdeck kleckert, braucht man sich keine Sorgen machen. Die Flecken lassen sich leicht mit etwas Schleifen entfernen.

Bemerkungen über das Teak-Furnier-System

Wir haben ausgezeichnete Ergebnisse mit Teak-Decks erzielt, die eine Endstärke von 3 – 5 mm aufwiesen. Wir sind der Meinung, daß 5 mm die obere Grenze für dieses Verfahren darstellt und raten daher von größeren Stärken ab. Der Grund hierfür ist, daß die WEST SYSTEM Kleber Verbindung in der Lage ist, die Ausdehnungs- und Schrumpfungskräfte des Holzes mit diesem dünneren Querschnitt aufzufangen. Teak-Leisten von wesentlich größerer Dicke, etwa 10 oder 13 mm, können Kräfte erzeugen, die die Festigkeit des Klebers übersteigen könnten, so daß es zum Bruch

kommt. Wir sehen aber keinen Grund darin, stärkere Teak-Furniere als 5 mm zu verwenden. Nach unserer Schätzung muß man mindestens 20 Jahre ausgiebig auf dem Deck herumlaufen, um diese Holzstärke durchzuscheuern, und wenn dieser unwahrscheinliche Fall einmal eintreten sollte, kann man leicht einzelne Planken ersetzen.

Das Teak muß nicht notwendigerweise ein Mehrgewicht bedeuten, sondern kann durchaus bei der Dimensionierung des Decks berücksichtigt werden. Ein Deck, das für 12.5 mm dickes Sperrholz ausgelegt ist, könnte sehr wohl aus einer Lage 10 mm-Sperrholz mit 3 mm-Teak-Auflage gebaut werden, praktisch mit dem gleichen Gewicht wie das reine Sperrholzdeck. Obwohl Teak Feuchtigkeit aufnehmen kann, zählt es zu den schweren Holzsorten und nimmt nicht soviel Feuchtigkeit auf, wie weiche Hölzer.

Bild 25.33 – Die Teak-Beplankung des Decks der GOLDEN DAZY wurde parallel zur Mittellinie verlegt. Die Montage war dadurch viel einfacher, da die einzelnen Leisten nicht entsprechend der Krümmung der Seite Deck gebogen werden mußten. Dieses attraktive Muster erhielt viel positiven Zuspruch.

Reparatur und Wartung

Beschädigungen an Teak-Decks, die ja relativ selten sind, lassen sich ohne Schwierigkeiten beheben. Die beschädigten Planken werden bis zur erforderlichen Tiefe ausgestemmt oder ausgefräst und durch neue Planken ersetzt, genau wie beim Aufbau des neuen Decks. Nach dem Schleifen ist die Reparatur erledigt, das Deck so gut wie neu.

Auf dem Markt werden verschiedene Mittel angeboten, die dem Holz seine frische Farbe erhalten sollen. Einige Mittel sind ausgezeichnet, wenn man die Zeit für diese Art Pflege aufwenden will. Notwendig ist es nicht. Ein von der Sonne gebleichtes Teak-Deck mit seiner grauen Oberfläche kann sehr ansprechend aussehen.

Im Laufe der Zeit können durch das Arbeiten des Holzes die Bronze-Klammern über die Oberfläche hervortreten. Hier ist Abhilfe leicht möglich, indem mit 80er Schleifpapier und einem Schleifklotz einfach nachgeschliffen wird.

Kapitel 26

Kleben von Beschlägen

Die Montage von Beschlägen bereitet auf Holzbooten einige Probleme. Selbst die kleinsten Boote sind normalerweise mit Klampen, Winschen oder anderen Beschlägen ausgestattet, die mit Schrauben oder Bolzen am Holz befestigt werden müssen. Unglücklicherweise verstärken normale Befestigungsmethoden einige der Schwächen von Holz. Während seine geringe Dichte das Holz zu einem ausgezeichneten Baumaterial für Rumpfschalen macht, ist diese geringe Dichte in Bezug auf Beschläge ein Schwachpunkt. Die extrem hohen Punktlasten, die von Beschlägen erzeugt werden können, können das Holz leicht überlasten.

Hochbelastete Beschläge werden üblicherweise mit Bolzen durch Decksflächen befestigt. An der Decksunterseite werden dann Muttern und Unterlegscheiben verwendet, um den Beschlag fest an die Holzoberfläche zu pressen. Abhängig von der Scheibengröße kann nur ein geringer Einspanndruck über die Mutter aufgebracht werden, bevor die Druckfestigkeit der Holzfaser überschritten wird. Falls die Bohrung im Holz für den Bolzen auch nur etwas zu groß ist, wird der Beschlag an Deck wahrscheinlich verrutschen. Um die Feuchtigkeit davon abzuhalten, unter Beschläge, in die Bolzenlöcher und das empfindliche, in den Bohrungen offene Stirnholz einzudringen, werden verschiedene Bettungsmassen als Dichtung verwendet.

Im Laufe der Zeit führt die ständige Bewegung des Beschlags dazu, daß die Elastizität der Dichtungsmasse abnimmt und dadurch womöglich die Feuchtigkeit das Holz in der direkten Umgebung des Beschlags infiltriert. Die eindringende Feuchtigkeit trägt zur allgemeinen Schwächung der Holzfaser bei und stellt die Bedingung für Trockenfäule her. Trockenfäule muß frühzeitig erkannt werden, und der Beschlag sollte entfernt und neu gebettet werden. Wenn dies nicht passiert, kann es zu ernsthaften strukturellen Schäden kommen, die möglicherweise das totale Versagen des Beschlags zur Folge haben können.

Um diese Probleme zu beseitigen, haben wir einen unterschiedlichen Ansatz zur Befestigung von Beschlägen entwickelt: das *Kleben von Beschlägen.* Wir verwenden WEST SYSTEM* Markenepoxidharz, um Beschläge und Holzfasern mit dem Ziel, die Lasten von den Beschlägen auf möglichst große Holzflächen zu verteilen, miteinander zu verkleben. Es gibt zwei unterschiedliche Wege, die Lastverteilung zu erreichen. Der erste ist, sämtliche Schrauben, Bolzen und Gewindestücke mit den sie direkt umgebenden Holzfasern zu verleimen. Der zweite ist, den Beschlag selbst mit den Holzfasern zu verleimen, auf denen er ruht. Mit den in diesem Kapitel beschriebenen Befestigungsverfahren und Decksunterfütterungen, wie sie in Kapitel 25 beschrieben sind, können Beschläge wesentlich höhere Lasten aushalten als Beschläge, die einfach an ihren Stellen eingebettet werden.

WEST SYSTEM Harz ist ein exzellenter Kleber für Holz. Es kann jedoch auch verwendet werden, um Metall und Holz zu verkleben. Es ist eigentlich diese Fähigkeit, unterschiedliche Materialien miteinander zu verkleben, die das Kleben von Beschlägen mit WEST SYSTEM Harz so praktikabel macht. Da es einige entscheidende Unterschiede zwischen den Verfahren zum Kleben von Befestigungselementen bis zu einem Durchmesser von 6 mm und größeren Befestigungselementen gibt, beziehen sich die folgenden Betrachtungen zunächst auf die kleineren Befestigungselemente und dann auf die großen. Geklebte Befestigungselemente können nach den ebenfalls in diesem Kapitel enthaltenen Anweisungen wieder entfernt werden.

Kleben von kleinen Befestigungselementen

Es gibt mehrere Wege, Befestigungselemente von 6 mm Durchmesser oder weniger zu kleben. Alle diese Verfahren erhöhen die Belastbarkeit der Befestigungselemente. Wenn eine Schraube in Holz geschraubt wird, werden Holzfasern von den Gewindegängen zerstört. Die Schraube verkeilt sich im Holz – dieses mechanische Verkeilen macht eine Schraube so effektiv – dies aber nur unzureichend, da zwischen Holz und Metall Lücken bleiben. Wenn jedoch das Pilotloch für die Schraube und die Schraube selbst satt mit Epoxid eingestrichen werden, paßt sich das Epoxid an die Gewindegänge an und fließt in all diese Minirisse. Die mechanische

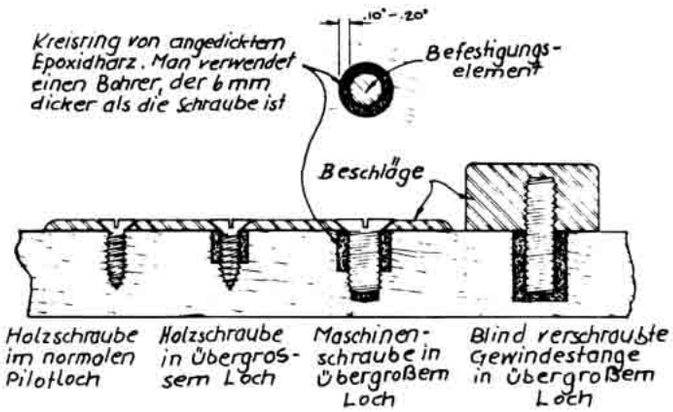

Kreisring von angedicktem Epoxidharz. Man verwendet einen Bohrer, der 6 mm dicker als die Schraube ist
10° - 20°
Befestigungs-element
Beschläge
Holzschraube im normalen Pilotloch
Holzschraube in übergros-sem Loch
Maschinen-schraube in übergroßem Loch
Blind verschraubte Gewindestange in übergroßem Loch

Bild 26.1 – Geklebte Befestigungselemente

Verkeilung wird wesentlich effektiver, so daß die Schraube größere Kräfte übertragen kann. Die Holz-Harz-Matrix in der direkten Umgebung des Befestigungselements ist deutlich stärker als Holz allein und überträgt die Kräfte von den Befestigungselementen besser auf die umgebenden Holzfasern.

Die einfachste und gebräuchlichste Methode kleine Befestiger zu kleben, ist das vollständige Tränken des normal großen Pilotlochs; d.h. mit einem Pfeifenreiniger oder einer Spritze arbeitet man das Epoxid vollständig in das Loch und in die umgebenden Holzfasern ein. Den Schaft und die Gewindegänge der Schraube betupft man ebenfalls mit Epoxidharz. Dann schraubt man das Befestigungselement ein und läßt die Verbindung aushärten. Die geklebte Schraube hat eine wesentlich höhere Belastbarkeit als eine identische Schraube in einem identischen Loch ohne Epoxidharz.

Um die Menge an Epoxidharz, die das Befestigungselement umgibt, und als Folge davon die Haltekraft zu vergrößern, kann man es in eine übergroße Bohrung einführen. Dies ergibt eine Buchse oder einen Kreisring aus Epoxidharz zwischen Metall und Holz. Der Durchmesser der Bohrung kann wesentlich größer als der Duchmesser des Befestigungselements sein. Er kann bis zum doppelten Durchmesser einer kleinen Schraube betragen. Wir empfehlen als typischere Buchsendicke jedoch eher 2,5 – 5 mm, indem man das Loch mit einem 6 mm größeren Durchmesser als dem des Befestigungselements bohrt. Das Holz wird bis zur richtigen Tiefe gebohrt und vollständig mit Epoxidharz gefüllt, Schraubenschaft und Gewindegänge mit Harz betupft und eingesetzt.

Wenn sehr große Löcher für Befestiger von bis zu 10 mm Durchmesser verwendet werden, kann das Epoxidharz darin in einer exothermen Reaktion „aufkochen“ und einige seiner mechanischen Eigenschaften verlieren; deshalb sollten relativ große Ringe nur verwendet werden, wenn extrem große einmalige Zug kräfte auftreten werden. Es ist eine gute Idee, ein Probeloch in einem Stück Abfallholz zu Bohren und zu füllen, damit man sicher sein kann, daß das Epoxidharz sich nicht überhitzen wird.

In den Jahren 1978 und 1979 haben wir Untersuchungen zur Bestimmung der relativen Auswirkung der Oberflächengröße von Befestigungselementen durchgeführt, bei denen die Zugspannungen von 38 mm langen Senkkopf-Holzschrauben mit Durchmessern von 4 bis 12 mm, in trockenen Pilotlöchern und in übergroßen Bohrungen mit Durchmessern von 5 -19 mm ermittelt wurden. Die Schrauben wurden in Probekörper, bestehend aus 6 mm Sperrholz und Sitka Spruce, eingesetzt, die ein Deck mit Unterfütterung simulieren sollten.

Die Ergebnisse dieses Experiments helfen der Darstellung der Vorgänge beim Kleben von Beschlägen. Eine 7 mm-Schraube, die in einem Standard-Pilotloch eingesetzt war, erforderte 4009 N zum Herausziehen. Als aber eine identische Schraube in einer Bohrung mit einem 6 mm größeren Durchmesser eingeklebt wurde, waren 7551 N zum Herausziehen notwendig. Es ist bemerkenswert, daß eine 8 mm-Schraube, die in einem übergroßen Loch von 11 mm Durchmesser mit einem Buchsendicke von nur 3,8 mm eingeklebt war, erst bei 7751 N aufgrund der Zugspannung brach. Daraus schließen wir, daß es bei Zugspannungsbelastung auf 7 x 38 mm-Schrauben nicht notwendig ist, übergroße Bohrungen mit einem größeren Durchmesser als 11 mm zu verwenden. Hier war genügend Oberfläche zur Lastverteilung vorhanden,

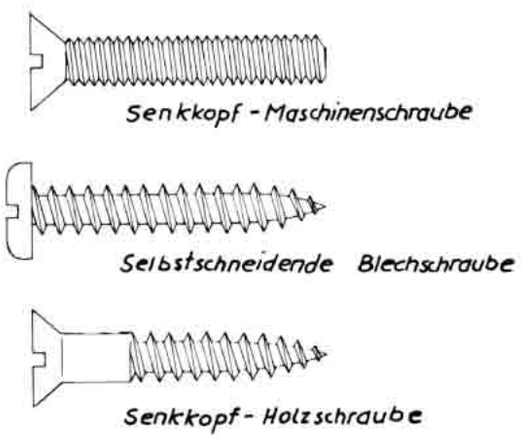


Bild 26.2 – Schraubenarten.

um die Bruchspannung der Schraube selbst zu übertreffen.

Bei demselben Versuch erforderte eine 8 mm-Holzschraube mit ihrem größeren Schaft eine übergroße Bohrung mit einem Durchmesser von 18 mm, um ihre Bruchlast von 11.219 N zu erreichen. Eine 8 mm-Schraube, die in ein 9 mm Durchmesser großes Loch geklebt war, konnte nur eine Kraft von 7146 N, oder anders ausgedrückt, etwas weniger als die 7 mm-Schraube in einem Loch derselben Größe aushalten. Alle diese Schrauben hatten ungefähr dieselbe Belastbarkeit, wenn sie in Bohrungen von 6 mm Durchmesser geklebt waren.

In einer zweiten Versuchsreihe wurden Holzschrauben mit selbstschneidenden Blechschrauben in vorgebohrten trockenen und in Harz-getränkten Pilotlöchern verglichen. Bei beiden Schraubenarten vergrößerte die Verwendung von WEST SYSTEM Harz die Belastbarkeit um bis zu 70%. Wir erzeugen diesen enormen Zuwachs bei geringem Kosten- und Zeitaufwand und nutzen ihn bei der Mehrheit der mittelmäßig belasteten Beschläge.

Dieser Test zeigte außerdem eine statistische Überlegenheit der selbstschneidenden Blechschrauben gegenüber den Holzschrauben bei beiden Locharten. Der voll mit Gewindegängen überzogene Schaft der Blechschraube weist eine größere Oberfläche auf und kann sich daher besser in der Holz/Harz-Matrix verkeilen als die Holzschraube. Holzschrauben sind den selbstschneidenden Schrauben in der Auszieh-Bruchlast unterlegen, solange der glatte Bereich ihres Schaftes nicht besonders zum Kleben vorbehandelt ist; ein Verfahren, das weder zeit- noch kosteneffektiv ist.

Während unsere Untersuchungen zeigen, daß das Kleben die Kapazität von Befestigungselementen erhöht, sollte man sie nicht so interpretieren, als könnten in irgendeiner Anwendung große gegen kleine Befestigungselemente ausgetauscht werden. Die hier beschriebenen Verfahren können jedoch sehr wohl dazu verwendet werden, die Sicherheiten und den Widerstand gegen Trockenfäule zu erhöhen.

Befestigungselemente mit großem Durchmesser

Übergroße Löcher und Harzübergangsflächen zwischen den Metall-Befestigungselementen und den Holzfasern erhalten bei Befestigungselementen mit größeren Durchmessern als 6 mm zunehmende Bedeutung. Dies ist besonders gravierend, wenn das Potential eines Bolzens, einer Maschinenschraube oder einer Gewindestange maximiert werden muß.

Wenn man die Festigkeitswerte von verschiedenen Holzarten kennt, kann man die Belastbarkeit eines Befestigungselements bei gegebenem Durchmesser in Kraft pro Fläche bestimmen. Die zur Verfügung stehende Fläche wird natürlich mit dem Durchmesser der übergroßen Bohrung und nicht des Befestigungselementes selbst errechnet. Die durchschnittlichen Auszieh-Bruchlasten in Abb. 26.3 sind in N/mm^2 angegebene Belastungen von in runde übergroße Bohrungen geklebte Bolzen. Die Auszieh-Bruchlast wird von mehreren Faktoren bestimmt, einschließlich Längen/Durchmesser-Verhältnis des Befestigungselements, Länge und Form, und daher können diese Angaben nur als allgemeine Richtwerte dienen.

Die folgenden durchschnittlichen Auszieh-Bruchlasten für mit Harz geklebte Bolzen bei drei verschiedenen Holzsorten sind die Ergebnisse einer Untersuchung, die von Kurt Keidel an der Ohio State University im Juni 1977 durchgeführt wurde.

Honduras Mahagoni	13,2 N/mm^2
Esche	11,3 N/mm^2
Sitka Spruce	9,5 N/mm^2

Abb. 26.3 – Auszieh-Bruchlasten ausgewählter Bootsbauhölzer.

Mit diesen Zahlen rechnet man wie folgt. Ein Bolzen mit 9 mm Durchmesser, geklebt in 75 mm starkem Holz in einer 12 mm Durchmesser Bohrung hätte eine Oberfläche von 2900 mm^2. Um die Belastbarkeit dieses Bolzens zu ermitteln, müsste man auch die maximale Auszieh-Bruchlast der Holzsorte wissen. Sitka Spruce hat eine mittlere maximale Auszieh-Bruchlast von 9,5 N/mm^2. Die Auszieh-Bruchlast betrüge mit einer Oberfläche von 2900 mm^2 bei dieser Bolzen-Klebung also 27.550 N. Verwendete man Esche anstatt Sitka Spruce, würde sich die mittlere Auszieh-Bruchlast auf 11,3 N/mm^2 erhöhen. Wenn man Honduras Mahagoni verwenden würde, betrüge die mittlere Ausreißlast 13,2 N/mm^2. Man beachte, daß die sicheren zulässigen Entwurfs-Grenzwerte, abhängig von Lastwechselzahl, R-Verhältnis und anderen Variablen, nicht größer als die Hälfte der o.a. maximalen Ausreißfestigkeitswerte sein dürfen.

Schubbelastungen und Befestigungselemente

Beschläge werden häufiger auf Schub beansprucht als auf reinen Zug, so daß wir das Verständnis für die Schubbelastbarkeit von Verbindungselementen für einen wichtigen Teil der Verklebung von Beschlägen halten. Wir haben einige Schubversuche mit verschiedenen Arten und Größen von Befestigungselementen durchgeführt, um ihre Belastbarkeit bei unterschiedlichen Belastungsfällen zu bestimmen.

Die meisten Befestigungselemente besitzen eine geringere Belastbarkeit unter Schub als unter geradem Zug. Teilweise liegt das daran, daß die Befestigungselemente unter Schub zum Verbiegen neigen. Dieses Biegen verursacht extrem hohe Punktlasten, die an der das Element direkt umgebenden Holzoberfläche anfangen und sich den Schaft entlang fortpflanzen, während sich das Befestigungselement biegt. Um das Problem noch komplizierter zu machen, ist die Druckfestigkeit des Holzes weit unter dem Wert, der notwendig wäre, den von dem sich biegenden Element erzeugten Punktlasten zu widerstehen. Die Verklebung eines Befestigungselements in einer Harz/Holz-Matrix erhöht zwar die Schubfestigkeit, jedoch nicht so dramatisch wie die Auszugsfestigkeit. Während ein übergroßes Loch mit einer, das Befestigungselement umgebenden, Harzmatrix die Lasten über eine größere Fläche verteilt, können diese extrem hohen Punktlasten so groß werden, daß sie die Druckfestigkeit des Harzes selbst übersteigen.

Wenn Befestigungselemente auf Zug getestet werden, ist ein Versagen einfach festzustellen. Wenn sie auf Schub getestet werden, ist es aber viel schwieriger, den Zeitpunkt zu bestimmen, wann das Versagen auftritt. Es gibt die langentwickelte Regel, daß Beschläge unter normalen Höchstbelastungen sich nicht bewegen sollten; für uns ist bemerkbare Bewegung ein Versagen des Befestigungselements. Schubversuche sind jedoch schwer zu entwerfen und wir konnten die Messung von Bewegungen nicht als verlässlichen Anzeiger für ein Veragen benutzen. An dessen Stelle bedienten wir uns vierer Meßkriterien, unter denen die maximale Last bis zu einer meßbaren Bewegung und die maximale Last für eine Bewegung, die einen Bleistiftstrich (0,76 mm) nicht überschreiten durfte, die wichtigsten waren.

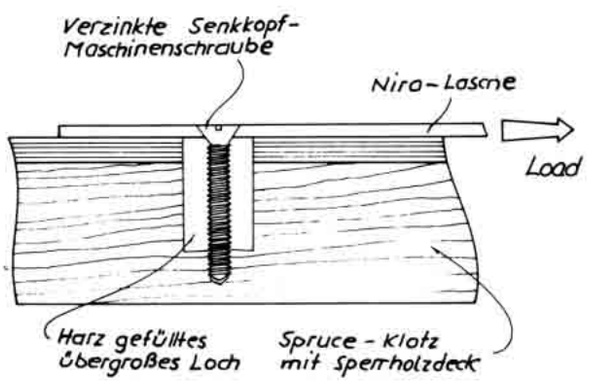


Bild 26.4 – Schnitt eines Probekörpers für Schublasten an einem geklebten Befestigungselement.

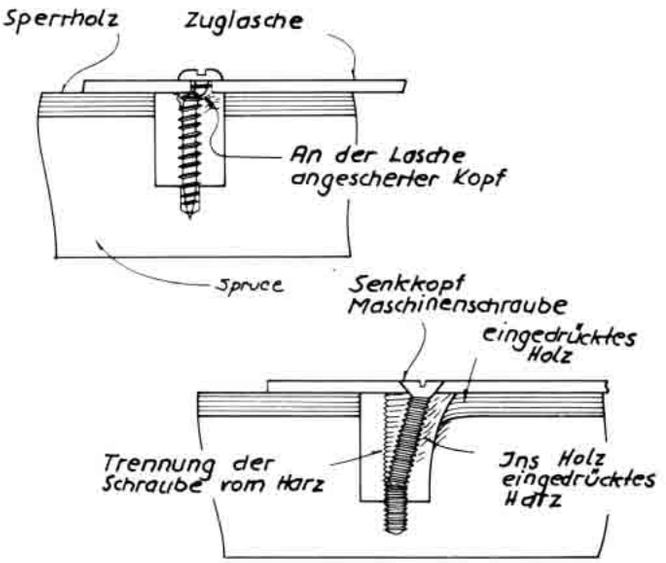


Bild 26.5 – Versagensformen von auf Schub beanspruchten selbstschneidenden Schrauben und Senkkopf-Maschinenschrauben.

Unsere Untersuchungen bestätigten, wie zu erwarten war, daß Befestigungselemente mit größeren Durchmessern den kleineren überlegen sind. Bei Holzschrauben betrug der Wert für eine No. 8 Schraube (ca. 4 mm) 1936 N, während er sich für eine No. 14 (ca.8 mm) Schraube auf 3097 N erhöhte. Die Zunahme zwischen den beiden Werten ist nicht so groß wie die Zunahme bei Standard-Pilotloch-geklebten Schrauben, die auf Zug belastet wurden. Die Art des Befestigungselements ergab unterschiedliche Leistungen. Selbstschneidende und Maschinenschrauben waren den Holzschrauben generell in der Schubfestigkeit überlegen, selbstschneidende neigten aber zu geringeren Bruchfestigkeiten als Holzschrauben.

Hohe Bruchfestigkeiten sind wegen der großzügigen Sicherheiten, die sie bieten, gut. Da wir jede Bewegung als anfängliches Versagen ansehen, dem mit hoher Wahrscheinlichkeit nach einem bestimmten Zeitraum der Bruch folgt , ist unsere Lösung eine angemessene Sicherheit. Bei der Auswahl der Befestigungselemente für das Sichern eines Be-

schlags wählen wir daher entweder größere selbstschneidende Schrauben, oder eine größere Anzahl von selbstschneidenden Schrauben.

Maschinenschrauben haben einen deutlichen Vorteil als lasttragende Befestigungselemente, da sie eine hohe Anfangsfestigkeit gegen Bewegung und eine hohe Bruchfestigkeit aufweisen. Diese erhöhte Festigkeit ergibt sich aufgrund ihres größeren Kerndurchmessers und dem voll mit Gewindegängen versehenen Schaft. Da Maschinenschrauben außerdem noch eine ausgesprochen gute Auszugsfestigkeit bieten, meinen wir, daß sie für viele Anwendungen das größte Potential bieten; folglich verwenden wir sie ebenso wie selbstschneidende Blechschrauben und Holzschrauben. Der einzige Unterschied ist, daß Maschinenschrauben ein stumpfes Ende haben, mit dem sie sich nicht ihr eigenes Loch schneiden können, so daß wir Pilotlöcher bohren müssen, die den richtigen Durchmesser und die richtige Tiefe haben müssen.

Selbstschneidende Schrauben sind unsere zweite Wahl unter den Befestigungselementen. Sie sind den Holzschrauben normalerweise in der Auszugfestigkeit überlegen, insbesondere bis zur Bleistiftmarke für die Bewegung. Holzschrauben, die hauptsächlich für die Befestigung zweier Holzstücke miteinander entwickelt wurden, scheinen lediglich bei der Bruchfestigkeit unter Schub besser zu sein, und das tröstet wenig, wenn schon große Bewegungen stattgefunden haben. Sie haben als Befestigungselement offensichtlich keine bedeutenden Vorteile beim Anbringen von Beschlägen auf Holz. Holzschrauben sind zwar womöglich zur Befestigung der meisten Beschläge akzeptabel, aber wir sehen keine Gründe für ihre Verwendung, wenn selbstschneidende und Maschinenschrauben zu ähnlichen Preisen erhältlich sind.

In der Regel sind Senkkopfschrauben den Rundkopfschrauben vorzuziehen. Dies ist besonders deutlich, wenn sie auf Schub beansprucht werden, wo eine feste Verbindung mit dem Beschlag wichtig gegen Bewegungen der Beschläge ist. Ein Rundkopf-Befestigungselement hat zwischen seinem Schaft und der Bohrung in dem Beschlag zwangsläufig etwas Spiel. Obwohl dieser Spalt teilweise mit Harz aufgefüllt werden kann, ist es nicht so stark wie bei einer strammen Metall-auf-Metall-Passung. Wenn die Bohrungen in einem Beschlag nicht versenkt sind, kann man die Schräge nachträglich mit einem handelsüblichen Versenker oder einem selbstgeschliffenen Bohrer mit dem korrekten Schneidwinkel herstellen.

Die Schubfestigkeit von Befestigungselementen mit größerem Durchmesser als 6 mm hängt wesentlich von der projIzierten Oberfläche ab, die zur Lastverteilung zur Verfügung steht. Wenn ein Befestigungselement größer wird, steigt die Lastaufnahme in einem viel größeren Verhältnis als die Oberfläche. Die Schubfestigkeit eines großen Befestigungselements steigt also nicht geometrisch zur projizierten Oberfläche an.

Versuche mit Bolzen mit durchgehendem Gewinde und Durchmessern von 8 – 12 mm zeigen, daß, nach dem Kriterium der Bewegung in Bleistiftstrichstärke beurteilt, die Schubfestigkeit anscheinend linear mit dem Bolzendurchmesser steigt. Obwohl die Festigkeit eines 12 mm-Bolzens gegenüber einem 8 mm-Bolzen mehrfach größer war, stieg die Schubfestigkeit nur um 45%, oder etwa genauso viel wie die Stirnfläche.

Unter Schubbelastung sind die Bolzen mit vollem Gewinde aufgrund der größeren Fläche, die sie bieten, besser als solche mit glattem Schaft. Die Fähigkeit der Gewindegänge, sich in dem Harz zu verkeilen, hilft der Schubfestigkeit genauso wie sie die Zugfestigkeit vergrößern. Der Schaft von einigen massiven Bolzen mit gewalztem Gewinde verjüngt und verbreitert sich manchmal. Vor solchen Bolzen muß man sich hüten -diese unregelmäßigen Schäfte sind, von verschiedenen Standpunkten betrachtet, eine schlechte Kombination. Unter Schubbelastung bietet ein dünner Schaft eine geringe Stirnfläche, die in einer geringen Belastbarkeit endet. Zum anderen bietet ein solcher Bolzen nicht die Gewähr, daß Epoxidharz oder Epoxidharzmischungen den Spalt zwischen Bohrung und -Schaft auffüllen kann, so daß es zu vorzeitigem Versagen führen kann.

Verfahren zum Kleben von Befestigungselementen

Die genaue Technik, mit der man Befestigungselemente kleben möchte, wählt man aus, nachdem man die Lasten ermittelt hat, denen sie ausgesetzt werden. Hochbelastete Beschläge, die auf Schub belastet werden, und gering belastete Beschläge erfordern geringfügig andere Verfahren. Übergroße Bohrungen sind für gering belastete Beschläge, die mit kleinen Schrauben befestigt werden können, normalerweise nicht erforderlich, aber in Grenzen bei anderen Anwendungen ratsam. Befestigungselemente sollten mit Wasser und Seife oder einem Entfetter gereinigt werden, benötigen ansonsten aber keine besondere Oberflächenbehandlung. Die Befestigungselemente sollte man immer mit Harz einstreichen, bevor sie eingesetzt werden.

Zum Bohren eines Standard-Lochs für eine Maschinenschraube nimmt man einen HSS-(schnellen

Stahl-) Bohrer mit einem eine Nummer kleineren Durchmesser als den der Schraube. Zum Bohren eines Pilotlochs für eine 6 mm Maschinenschraube wählt man einen 5,5 mm Bohrer. Die resultierende *Preßpassung* gibt dem Schraubengewinde genügend Griff ins Holz und gewährleistet eine gute Verklebung zwischen Holz und Befestigungselement, wenn beide mit Harz eingestrichen sind. Klebt man ein Befestigungselement in ein Standard-Loch, nimmt man einen Pfeifenreiniger oder eine Spritze, um das Loch mit WEST SYSTEM Epoxidharz zu tränken. Dann streicht man auch die Gewindegänge mit Harz ein und montiert sofort danach die Schraube. Sobald das Harz ausgehärtet ist, hat das Befestigungselement eine doppelte zulässige Belastbarkeit in Spruce oder Fichte wie dieselbe Schraube in einem Loch ohne Epoxid.

Es gibt keine festen Regeln über den Durchmesser der übergroßen Bohrungen. Wir empfehlen, einen ausgehärteten Epoxidharzring mit einem Radius von 2,5 – 5 mm anzustreben, so daß man am besten einen Bohrer nimmt, dessen Durchmesser ca. 6 mm größer als das Befestigungselement ist. Wie oben bereits bemerkt, bieten größere Bohrungen bis zu einem bestimmten Punkt größere Festigkeiten bei einer einmaligen Belastung, bei kleineren Befestigungselementen wird dies jedoch mit der Gefahr aufgewogen, daß das in dem Loch angesammelte Harz zu heftig reagiert. Befestigungselemente über einer Größe von l02wmm können die Reaktionswärme aufnehmen und so das Harz vor diesen Gefahren „schützen". Aus diesem Grunde raten wir dazu die Ringe bei kleineren Elementen eher am unteren Ende des Bereichs von 2,5 – 5 mm zu wählen und zuvor einen Versuch mit Bohrung und Schraube in einem Reststück Holz durchzuführen.

Das unmittelbare Problem bei der Montage von Befestigungselementen in übergroßen Bohrungen ist deren Fixierung, bis das Epoxidharz ausgehärtet ist. Die beste Lösung sieht so aus: man bohrt das Loch auf ungefähr zwei Drittel bis drei Viertel der Gesamtlänge des Schraubenschaftes. So kann der unterste Abschnitt der Schraube in das Holz pakken. Das Befestigungselement zentriert sich dann von selbst in der Mitte der Bohrung und bekommt gleichzeitig so viel Halt, daß es den Beschlag bis zum Aushärten mit der Oberfläche einigermaßen bündig halten kann.

Wir verwenden normalerweise Holz-Zentrumsbohrer, deren Zentrierspitze wir auf Radius und Länge wie in Bild 26.6 beischleifen. Wenn zum Beispiel ein übergroßes Loch von 10 mm Durchmesser für eine 38 mm lange 6 mm-Schraube gebohrt werden soll, würden wir einen 10 mm-Zentrumsbohrer kaufen, dessen äußere Backen intakt lassen, aber die Spitze auf richtige Länge und Durchmesser beischleifen, so daß ein ca. 10 mm tiefes Zentrierloch entstünde. Ein anderer Weg zum Bohren von übergroßen Löchern arbeitet mit zwei Bohrern. Zunächst bohrt man mit einem übergroßen Bohrer bis auf ca. drei Viertel der Tiefe, dann nimmt man einen zweiten Bohrer, der etwas kleiner als der Durchmesser der Schraube ist, und bohrt mit ihm den Rest der Lochtiefe auf. In beiden Fällen müssen die Schneiden der Bohrer scharf gehalten werden: bei unseren Untersuchungen bemerkten wir, daß sauber geschnittene Holzfasern das Epoxid weit besser absorbierten als von stumpfen Bohrern ausgefranste Holzfasern. Ausgefranste Probekörper versagten zudem häufiger als sauber geschnittene.

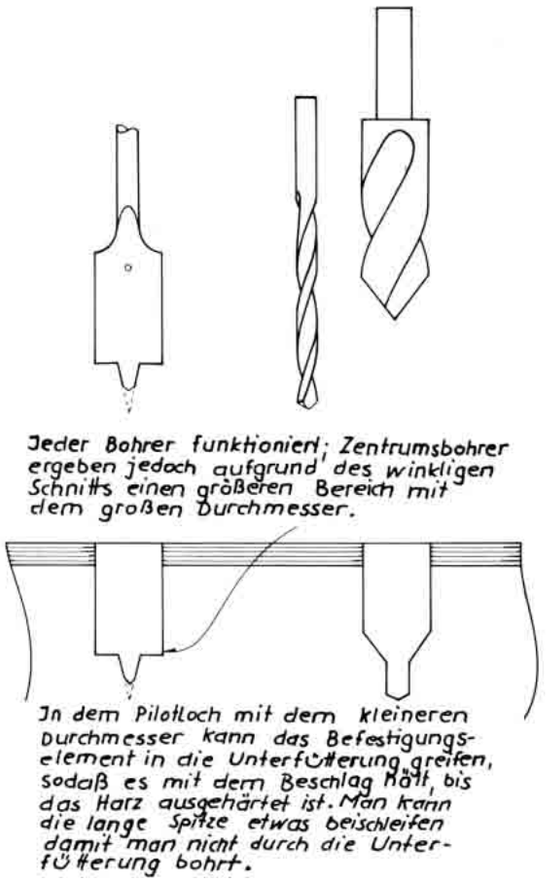

Jeder Bohrer funktioniert; Zentrumsbohrer ergeben jedoch aufgrund des winkligen Schnitts einen größeren Bereich mit dem großen Durchmesser.
In dem Pilotloch mit dem kleineren Durchmesser kann das Befestigungselement in die Unterfütterung greifen, sodaß es mit dem Beschlag hält, bis das Harz ausgehärtet ist. Man kann die lange Spitze etwas beischleifen damit man nicht durch die Unterfütterung bohrt.

Bild 26.6 – Bohren der Pilotbohrung und der übergroßen Bohrung.

Da man die Bohrungen mit Epoxidharz auffüllen möchte, bevor die Beschläge angebracht werden, kann man am besten – unterstützt von der Schwerkraft – an fast horizontalen Ebenen arbeiten. Nachdem das Loch gebohrt ist, entfernt man alle Holzspäne und füllt es bis zum Rand mit Epoxidharz

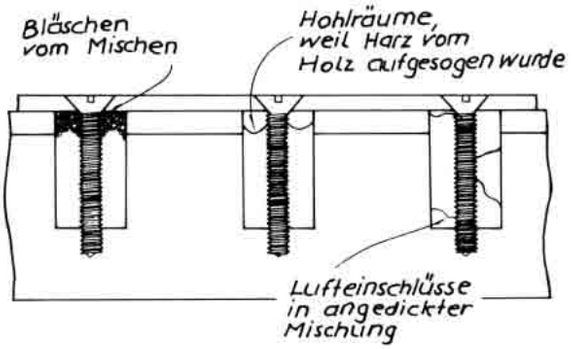


Bild 26.7 – Probleme beim Kleben von Befestigungselementen.

auf. Dann läßt man das Harz 5-10 Minuten einziehen. Diese Wartezeit ist besonders wichtig, da ein bedeutender Anteil des Harzes vom Holz aufgesogen werden kann, speziell bei kleineren Löchern. Wenn man das Befestigungselement zu früh einsetzt, besteht die Möglichkeit, daß das Holz noch immer Harz von der Schraube abzieht. Bemerkt man nach einer Wartezeit, daß sehr viel Harz aufgenommen wurde, fügt man vor der Montage der Schraube wieder etwas hinzu.

Meistens nimmt das Befestigungselement einen großen Teil des Lochvolumens ein, so daß beim Einfügen Harz aus dem Loch gedrückt wird. Um das Problem zu verringern, entfernt man ein wenig von dem Harz aus dem Loch bevor man die Schraube einsetzt. Geringe Mengen Harz läßt man ganz gerne noch austreten, damit man kontrollieren kann, ob eine ausreichende Harzmenge im Loch vorhanden ist, also entfernen Sie nicht zu viel Harz. Ein bißchen Übung wird einen lehren, wieviel Harz man wegnehmen kann, so daß die Holz/Schrauben-Verbindung nicht gefährdet ist.

Hohlräume in übergroßen Löchern schwächen die Festigkeit der geklebten Schrauben und sollten daher vermieden werden. Sorgfältige Überprüfung der Harzaufnahme nach der anfänglichen 10 minütigen Wartezeit hilft dabei, Lücken zu vermeiden, die entstehen können, wenn das Holz zu viel Harz aufnimmt, daß zu wenig für die Verklebung der Schraube übrig bleibt. Andere typische, wie die in Bild 26.7 gezeigten Probleme, die durch Luftbläschen vom Mischen des Epoxidharzes und durch Lufttaschen in den übergroßen Löchern verursacht werden, kann man mit Hilfe von effektiven Arbeitsweisen ausschalten. Die Harzmischung sollte sorgfältig gerührt werden, damit so wenig Luft wie möglich eingerührt wird, und man sollte übergroße Bohrungen immer vom Boden her auffüllen.

An senkrechten Flächen sind Befestigungselemente etwas schwerer in übergroßen Bohrungen zu

Bild 26.8 – Zum Auffüllen einer übergroßen Bohrung werden Spritzen verwendet.

montieren. Hier fuktioniert ein Verfahren mit zwei Schritten ganz gut. Zunächst streicht man das Loch mit Hilfe eines Pfeifenreinigers mit Harz ein. Dann wartet man ein paar Minuten und benutzt eine Spritze, um das Loch mit einer angedickten Mischung von Epoxidharz und schwerem Zuschlagsstoff aufzufüllen. Der Kleber sollte so dick sein, daß er im Loch bleibt und nicht läuft, aber nicht zu dick, daß er nicht mehr mit der Spritze eingebracht werden kann. Die Spritze lädt man, indem der Kolben herausgezogen wird und die Harzmischung mit einem Spachtel in den Zylinder drückt. Mit dem Einspritzen der Harzmischung beginnt man am Boden des Lochs und geht langsam nach oben. Dabei versucht man, keine Luft in der Bohrung einzuschließen.

Wenn ein Schraubenloch – einfach oder übergroß – horizontal, oder so tief ist, daß die Spritze nicht bis nach unten reicht, verlängert man deren Spitze mit einem dünnen Trinkhalm. Dies führt man dann in die Bohrung ein und injiziert unverdicktes Epoxidharz, wobei man unten anfängt und sich langsam nach oben arbeitet. Das läßt man eine Weile einziehen und verwendet dann dasselbe Werkzeug und dieselbe Technik, um angedicktes Harz einzuspritzen.

Bevor man ein Befestigungselement in angedicktes Harz einsetzt, streicht man es gut mit dem angedickten Harz ein, damit alle Gewindegänge mechanisch gefüllt sind. Falls man eine nicht eingestrichene Schraube in angedickten Kleber eingeführt

wird, füllen sich die Gewindegänge möglicherweise nicht richtig mit Harz, was eine Qualitätsminderung der Verklebung zur Folge hat. Ein Vorteil des Zwei-Schritt-Verfahrens ist, daß aus dem Loch herausquellender Kleber nicht läuft und mit einem Kittmesser weggenommen werden kann.

Entfernen von geklebten Befestigungselementen

Die Verklebung zwischen Schraube und WEST SYSTEM Epoxidharz ist stark, aber mit dem richtigen Verfahren kann man sie knacken und die Schraube aus dem Holz entfernen. Wenn man vorher weiß, daß man ein Befestigungselement irgendwann wieder herausnehmen möchte, kann man sie zuvor mit Wachs oder einem Trennmittel einstreichen. Obwohl der Wachs die Verklebung Metall/Epoxid beeinträchtigt, schränkt es die mechanische Verkeilung an den Gewindegängen, die den Hauptanteil der Lasten übernimmt, nicht ein.

Geklebte Befestigungselemente können mit einer angemessenen Kraft oft gelöst werden. Wenn man Schwierigkeiten beim Lösen hat, erwärmt man sie mit einem Lötkolben oder einem Bügeleisen, bis das Epoxidharz in der direkten Umgebung aufweicht. An eine Lötpistole montiert man eine Schneidespitze und steckt sie in den Schlitz einer kleineren Schraube, damit man sie entfernen kann. Größere Verbindungselemente mit einem größeren Kerndurchmesser können häufig sehr stark belastet werden, ohne daß sie herausbrechen, Erwärmen auf ungefähr 136° eicht das Harz jedoch auf und erleichtert die Arbeit.

Wenn man WEST SYSTEM Harz erwärmt, kann man ein paar der mechanischen Eigenschaften zerstören. Ersetzt man das Befestigungselement, bohrt man das Loch komplett auf und beginnt mit frischem Harz.

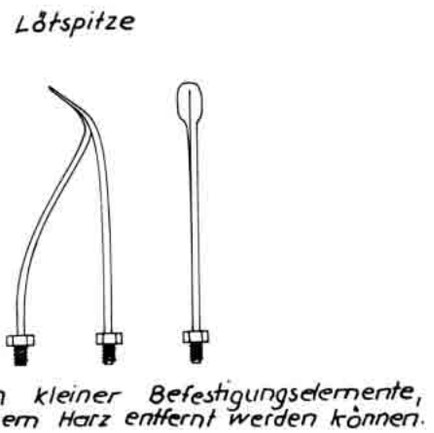


Bild 26.9 – Lötkolben-Vorsatz

Kleben von Beschlägen

Die Verklebung der Kontaktfläche eines Beschlags, kann einen großen Beitrag zur Lastverteilung auf eine maximale Holzfläche liefern. Eine korrekte Verklebung einer Augplatte mit einem Durchmesser von 64 mm kann zum Beispiel 31 kN zusätzliche Schubfestigkeit bringen, bei Sitka Spruce unter einer Belastung parallel zur Faserrichtung.

In erster Linie sind wir daran interessiert, die Schubfestigkeit von Beschlaginstallationen zu verbessern. Es ist schwer, entscheidende Verbesserungen der Schubfestigkeit durch die Verklebung der Befestigungselemente zu erreichen, wenn aber ein Beschlag mit dem Holz verklebt wird, auf dem er liegt, hat er eine wesentlich größere Schubfestigkeit als die Befestigungselemente für sich genommen. Bei Zugbelastung ist das Gegenteil der Fall: hier übernehmen die Befestigungselemente immer die Hauptlasten, so daß die Verklebung des Beschlags von untergeordneter Wichtigkeit ist. Daher kleben wir Beschläge hauptsächlich zur Vergrößerung der Schubfestigkeit, der Hauptschwäche von leichten Hölzern.

Diese Verbesserung der Schubfestigkeit ist besonders deutlich bei der Befestigung von Püttingen. Püttinge werden normalerweise äußerst stark belastet und ihre Befestigungselemente werden immer ausschließlich auf Schub belastet. Die Bewegung von Püttingen ist bei Holzbooten immer ein übliches Problem gewesen, das durch die Verklebung der Beschläge leicht gelöst wird. Die Konstruktion von Püttingeisen muß das Ziel enthalten, eine maximale Klebefläche zur optimalen Lastverteilung, zu bieten.

Die Klebefläche von vielen Beschlägen kann bereits gerieft oder rauh sein, und dies kann man gut ausnutzen. Der Boden einer typischen Grundplatte einer Winsch weist beispielsweise tiefe Rillen vom Drehen ebenso auf wie eine Vertiefung in der Mitte. Wenn das Harz in diesem Kern aufsteigen kann, bildet sich eine Hohlkehle um die innere Lippe der Grundplatte, wodurch Lasten übertragen werden. Selbst wenn man keine gute Verklebung mit dem Metall erzeugt, ergeben sich durch die Drehrillen und den Kern ausgezeichnete Schubfestigkeiten aufgrund der mechanischen Verkeilung.

Um das Verkeilungspotential eines Beschlags zu steigern, bohrt man eine Reihe flacher Löcher, in die das Harz fließen kann. Durchlässe, Lüfter, Luken und andere nicht konstruktive Beschläge, die keine großen Belastungen erfahren, erfordern diese besondere Oberflächenbehandlung vermutlich

nicht, aber sie müssen in eine dicke, mit schwerem Füller angedickte, Klebermischung eingebettet werden, so daß zwischen ihnen und der Rumpfoberfläche keine Hohlräume verbleiben.

Vorbereitung von Metalloberflächen zum Kleben

WEST SYSTEM Epoxidharz ist zur Herstellung guter Verklebungen mit den meisten Metallen geeignet – eine Fähigkeit, die das Beschlag-Klebe-Konzept sehr praktikabel macht. Es gibt bei der Herstellung einer guten Verbindung jedoch auch Probleme, die die Vorbereitung der Metalloberflächen zwecks guter Haftungseigenschaften erforderlich macht.

Die Vorbereitung von Metalloberflächen für Klebeverbindungen ist ein relativ neuer und komplexer Bereich, über den es verschiedene Lehrmeinungen gibt. Denjenigen, die an einer umfassenden Erforschung dieses Bereichs interessiert sind, empfehlen wir das *Handbook of Adhesive Bonding* von Charles V. Cagle, erschienen bei McGraw Hill, Inc., New York, 1973. Dies ist die beste Arbeit über dieses Thema, das wir bis heute kennen. Im allgemeinen ist eine Superverklebung mit Metallen keine notwendige Bedingung bei der Holz/Metall-Verklebung. Die Faserfestigkeit von Holz ist ausnahmslos der einschränkende Faktor, und in den meisten Fällen ist es nicht nötig, eine Harz/Metall-Verklebung herzustellen, die stärker als der einschränkende Faktor der Holzfaserfestigkeit ist.

Die folgenden Abschnitte behandeln die Vorbereitungsverfahren, die wir erfolgreich bei einer Reihe von Metallen angewandt haben, um das Kriterium der Holzfaserfestigkeit leicht zu erfüllen. Die zu erwartenden Werte verschiedener Hölzer, angegeben in Newton pro Quadratmillimeter, sind in den Tabellen über mechanische Eigenschaften im Anhang A aufgelistet. Falls man einen Beschlag senkrecht zur Faserstruktur klebt, kann man lediglich 60% der angegebenen Werte annehmen. Die Schubfestigkeit von Holz liegt selten über 14 N/mm^2 und ist üblicherweise näher an 7 N/mm^2. Man kann Verklebungen mit Metall herstellen, die über 14 N/mm^2 liegen, aber dann muß man die Metalloberfläche extrem gut vorbereiten.

Aluminium

Aluminium ist immer schon schwer zu verkleben gewesen, aber vereinfachte Oberflächenbehandlungssysteme haben diese Aufgabe etwas leichter gemacht. Beim ersten Schritt dieser Vorbereitungen verwendet man eine Säure als Waschlösung, um die Oberfläche zu ätzen, zu reinigen und aufzurauhen. Der zweite Teil ist im allgemeinen eine chromatische Umwandlungsbeschichtung, die das Aluminium bis zum Auftragen von Epoxidharz stabilisiert und die Korrosion verringert, die durch Luftkontakt entsteht. Das zweiteilige WEST SYSTEM Nr. 860 Aluminium-Ätzmittel enthält alle erforderlichen Zutaten und eine komplette Gebrauchsanweisung. Wenn man ein anderes Oberflächenvorbereitungssystem verwendet, sollte man sich sorgfältig an die Vorschriften des Herstellers halten.

Stahl (incl. alle Niro-Stähle)

Die Vorbereitung einer Stahloberfläche umfaßt vier Schritte. Der erste Schritt ist, den Stahl so gut wie möglich zu reinigen. Dies kann man mit einer Lösungsmittelwaschung erreichen, wobei man alle Öle und Fette mit sauberen Lappen entfernt. Alle ungewöhnlich schmutzigen Oberflächen sollte man mehrmals waschen, damit keine mögliche Verunreinigung mehr auf der Oberfläche zurückbleibt. Der nächste Schritt ist das Aufrauhen der Oberfläche mit grobem Schleifpapier (60er Körnung oder 180er wet or dry), um Zunder oder Rost zu entfernen und reines, sauberes Metall freizulegen. Schritt drei ist das Einstreichen der angeschliffenen Metalloberfläche mit einer dünnen Schicht purer Harz/Härter-Mischung. Beim vierten und letzten Schritt schleift man die Metalloberfläche sofort noch einmal (mit 60er Körnung), während das Harz noch nicht ausgehärtet ist. Dieser Vorgang ähnelt dem Naßschleifen mit Wasser, ersetzt das Wasser aber durch das

Bild 26.10 – Die Klebefläche wird mit grobem Schleifpapier angeschliffen.

Bild 26.11 – Auftragen von Harz auf die Klebefläche.

Bild 26.12 – Nasses Einschleifen von Harz in die Klebefläche.

Harz. Das Ziel dieses Vorgangs ist das Freilegen von reinem Metall und dies direkt mit dem Harz zu benetzen, so daß es nicht mit der Luft in Berührung kommt, die schnell zu Korrosion führt. (Neben Verunreinigungen wird die Korrosion als eine Hauptursache für schlechte Verklebungen angesehen.) Sobald man diesen vierten Schritt abgeschlossen hat, kann man den Beschlag aufkleben. Manchmal lassen wir die erste Beschichtung aushärten, um erst später verklebt zu werden. Zur Vorbereitung der Klebefläche für gute Haftung bei einer späteren Verklebung ist dann nur noch Reinigen und leichtes Anschleifen der Harzschicht notwendig.

Bronzelegierungen

Metalle mit einem hohen Kupferanteil sind besonders schwierig zu verkeben, was vermutlich auf die schnelle Oxidation von Kupfer zurückzuführen ist. Meistens bereiten wir Bronzeklebeflächen genauso vor wie Stahl, zusätzlich versuchen wir jedoch, die Oberfläche, so weit es praktikabel ist, physikalisch abzuschleifen, damit eine mechanische Verkeilung zwischen Harz und Metall zu erreichen ist.

Verfahren zum Kleben von Beschlägen

Das Kleben von Beschlägen hat einen Nachteil. In den meisten Fällen benötigt man für das Verfahren mehr Zeit als bei der normalen Beschlagmontage, da man zusätzliche Schritte unternehmen muß. Nachdem man ein bißchen mehr Erfahrung mit dieser neuen Methode hat, ist die zusätzlich benötigte Zeit jedoch nicht mehr so erheblich, und wir versichern Ihnen, daß sie durch die Ergebnisse mehr als gerechtfertigt wird.

Das Aufkleben von Beschlägen ist wesentlich einfacher durchzuführen, bevor das Boot seinen Anstrich bekommt, dann wird jedoch das Anstreichen schwieriger, weil man sämtliche montierten Beschläge abkleben und um sie herumstreichen muß. Bei der Montage von Beschlägen auf einer frisch gestrichenen Fläche ist das einzige Problem die mögliche Verschmutzung des frischen Anstrichs. Das Kleben von Beschlägen kann sehr schmierig sein, und während man die frisch gestrichene Fläche so sauber wie möglich hält, erkauft man sich das mit viel Zeit. In unserer eigenen Werkstatt gibt es kein festgelegtes Vorgehen, aber man sollte die einzelne Arbeit betrachten, die zu erledigen ist und versuchen, das Verfahren auszuwählen, bei dem man am wenigsten Zeit braucht. Oft montieren wir einige Teile vor dem Anstrich (insbesondere schwierig zu montierende Beschläge wie große Winschen, Schienen usw.) und die restlichen Beschläge (solche, um die man nicht einfach herumstreichen kann) nach dem Anstrich.

Ob man die Beschläge vor oder nach dem Anstrich montiert, man fängt immer mit dem Ausrichten des Beschlags und sorgfältigen Anzeichnen der Mittelpunkte der Bohrungen für die Befestigungselemente an. Hierfür kann jedes Werkzeug verwendet werden, mit dem man ausreichend große Löcher als Körnerung zum Bohren machen kann – dazu wählen wir meistens eine Ahle. Besondere Sorgfalt verwendet man zum genau mittigen Ausrichten der Körnerung. Wenn sie angezeichnet sind,

überprüft man sie nochmals. Falls eins aus dem Maß ist, versetzt man es soweit wie es für die Genauigkeit nötig ist.

Als nächstes entfernt man den Beschlag wieder und bohrt alle Löcher mit angemessenen Bohrern. Die Bohrer sollen scharf und gleichmäßig geschliffen sein, da stumpfe Bohrer zum Ausbrechen neigen. Zur Überwachung der Bohrtiefe klebt man ein Stück Tape an den Bohrer, das die Länge der Schraube kennzeichnet; die Dicke des Beschlags sollte man nicht vergessen. Hat man eine Bohrmaschine mit variabler Geschwindigkeit, fängt man langsam an und steigert die Geschwindigkeit ab einem Viertel der Tiefe. Die Bohrmaschine kontrolliert man von der Seite und von vorne, damit man sie nicht schief hält.

Die Größen der Bohrungen sind abhängig von den Lasten, denen die Beschläge ausgesetzt sind. Arbeitet man an einem Beschlag, der lediglich gering belastet wird, bohrt man Standard-Pilotlöcher. Wird das Teil wie beispielsweise Klampen Schubspannungen ausgesetzt, bohrt man zunächst Pilotlöcher und schaltet dann auf Bohrer um, die einen 6 mm größeren Durchmesser haben. Diesen Bohrer verwendet man, um die obere Hälfte der Bohrung aufzubohren. Wenn man Winschen, Mooringklampen, Püttinge für stehendes Gut oder ähnliche Beschläge montiert, benutzt man grobe Maschinenschrauben. Dazu bohrt man Löcher, die einen 6 mm größeren Durchmesser als die Schrauben haben, auf zwei Drittel der Bohrungstiefe. Dann nimmt man einen 1,5 mm kleineren Bohrer, um die Löcher zu vertiefen, bis sie tiefer als die Länge der Schrauben sind.

Nachdem alle Löcher gebohrt sind, entfernt man die Holzspäne aus ihnen und der Umgebung. Dann setzt man den Beschlag nochmal an die entsprechende Position und überprüft, ob die Löcher auch mit den Bohrungen des Beschlags übereinstimmen. (Ein Vorteil von übergroßen Löchern ist, daß die Passung nicht so wichtig ist.) Wenn alles paßt, baut man den Beschlag provisorisch mit leicht angezogenen Schrauben ein und geht zum nächsten Beschlag über, wo man die Löcher ebenfalls anzeichnet und bohrt. Gleichzeitig eine Reihe von Beschlägen in dieser Art vorzubereiten, ist wesentlich effektiver, als jeden Beschlag einzeln vom Anfang bis zum Ende zu montieren. Das Ausrichten der Beschläge, Anzeichnen und Bohren der Löcher ist ziemlich unterschiedlich zu den Arbeiten, die zum Kleben notwendig sind. Nur das Zusammensuchen der Werkzeuge (oder Materialien) für die einzelnen Vorgänge erfordert eine ganze Menge Zeit, und man steigert die Effektivität, wenn man diese unvermeidliche Vorbereitungszeit verringert.

Klebt man Beschläge auf eine Oberfläche, die bereits ihren Endanstrich erhalten hat, muß man einen Schritt zusätzlich vor dem Kleben unternehmen. Nachdem man den Beschlag ausgerichtet hat, zieht man einen Strich in einem um ihn. Dann nimmt man den Beschlag weg und klebt einen Tapestreifen (meistens 50 mm breit) um den Strich her‘um, wobei es eben die gesamte Markierung abdeckt. Dann setzt man den Beschlag wieder mit Hilfe der Löcher auf seine Position und schneidet dann sorgfältig mit einer scharfen Klinge durch das Tape, wozu man den Umfang des Beschlags als Führung nimmt. Hierbei darf man nicht durch die Harzschicht schneiden. Man wendet also nur soviel Kraft auf, wie zum Durchschneiden des Tapes nötig ist. Dann nimmt man den Beschlag wieder ab und entfernt das Tape von der Klebefläche, wobei man den äußeren Rand, der den Umfang des Beschlags perfekt wiedergibt, stehen läßt. Schließlich kratzt man die Farbe bis auf die ausgehärtete Harzbeschichtung mit einem scharfkantigen Werkzeug von der Klebefläche ab, ohne daß man den Rand zerstört. Dann kann man mit dem Kleben des Beschlags fortfahren, ohne daß Harz auf die lackierte Fläche gelangt.

Die Klebefläche der Beschläge kann man schon lange vor der Montage vorbereiten. Die Oberfläche von Aluminiumteilen kann man beispielsweise Stunden vor der eigentlichen Montage behandeln, wenn man aufpaßt, daß die Klebefläche nicht verunreinigt wird. (Die Klebefläche darf man nicht berühren.) Stahl- und Bronzeteile kann man vorzeitig mit Lösungsmittel waschen und schleifen, so daß man sie kurz vor dem Kleben nur noch zu beschichten und das Harz einzuschleifen hat. Auch die ausgehärtete Harzoberfläche sollte mit Lösungsmittel oder Wasser und Ammoniak gereinigt werden. Diese Fläche schleift man dann nochmals leicht an, insbesondere, falls sie bis dahin noch gar nicht geschliffen worden ist.

Als nächstes bringt man Epoxidharz in das Loch ein. Die Verfahren hierzu unterscheiden sich je nach der erwarteten Belastung des Beschlags und der Lochgröße. Auf jeden Fall fängt eine Uhr an zu laufen, sobald man mit dieser Arbeit beginnt: der Beschlag muß sitzen, bevor das Harz in den Löchern anzuziehen beginnt. Übergroße Löcher können so große Harzkonzentrationen enthalten, die die exothermen Reaktionen beschleunigen und die Topfzeit entscheidend verringern können. Bei warmem Wetter können, selbst mit dem langsamen Härter, Löcher von einem Durchmesser von 12 mm

nach 20 – 30 Minuten anfangen zu gelieren. Deshalb soll man den Vorgang so planen, daß er in kürzester Zeit abgeschlossen ist.

Hat man Standard-Pilotlöcher oder übergroße Löcher für kleine Befestigungselemente gebohrt, die auf Schub belastet werden, so folgt man den Anweisungen, die unter „Verfahren zum Kleben von kleinen Befestigungselementen“ zu Beginn dieses Kapitels beschrieben sind. Wenn man grobe Maschinenschrauben zur Befestigung von hochbelasteten Beschlägen wie Winschen oder Mooringklampen einsetzt, benetzt man das Loch mit WEST SYSTEM Harz und füllt sie mit einer dicken Mischung aus Epoxidharz und schwerem Füller, wie sie für senkrechte Flächen beschrieben ist. Dann streicht man die Schrauben ein und installiert sie.

Wenn man die Schraubenlöcher aufgefüllt hat, beschichtet man den Beschlag und die Fläche, auf die er geklebt werden soll. Wenn die Oberflächen perfekt passen, braucht man keine Zuschlagstoffe im Epoxidharz, wenn aber Lücken und Hohlräume zwischen den beiden Flächen vorhanden sind, mischt man schweren Füllstoff in das Epoxidharz zu der gewünschten Viskosität. Diese Mischung trägt man auf beiden Flächen auf, wo Lücken sind etwas mehr. (Man versucht, die hohen und flachen Stellen mit dem Auge zu erkenne, wenn der Beschlag auf der nackten Fläche sitzt.) Mit etwas Übung ist man in der Lage, genau so viel Harz auf den Beschlag aufzubringen, daß genügend Harz herausquillt, um eine 100%ige Verbindung anzuzeigen, aber nicht so viel, daß große Kleckse herausgequetscht werden, wenn das Teil an seinen Platz gesetzt wird.

Nachdem alle Flächen mit Harz beschichtet sind, setzt man den Beschlag an seine Position und streicht alle Schrauben mit Harz ein und montiert sie, zieht sie solange an, bis alles festsitzt. Jegliches Epoxid, das beim Einbetten herausquillt, wird weggewischt. Mit einem Kittmesser entfernt man den gröbsten Teil, mit Papierhandtüchern wischt man das etwas dünnere Harz auf. Auf unlackierten Flächen benutzen wir Lösungsmittel und Lappen, wenn dies für eine gründliche Reinigung erforderlich ist. Quillt sehr viel Harz unter dem Beschlag hervor, hat man entweder auf eienr Fläche oder in einem Loch mehr Kleber aufgetragen als nötig war. Man versucht, die Menge solange zu reduzieren, bis eine kleine, aber gesunde Menge Harz austritt.

Eingießen von Beschlägen

Manchmal müssen Beschläge in einem bestimmten Winkel zur Montagefläche installiert werden. Winschen werden zum Beispiel schräg aufgestellt, um eine saubere Führung zu gewährleisten. Grundplatten für Relingsstützen, Umlenkrollen und Maschinenfundamente müssen häufig so eingebaut werden, daß sie nicht flach an einer Fläche anliegen können. Zur Unterstützung dieser Elemente werden dann meistens keilförmige Holzplatten und Beilagen verwendet, aber deren Herstellung kostet viel Zeit und Geschick. Durch das Eingießen von Beschläge kann man eine Menge Zeit sparen und bessere Ergebnisse erzielen.

Zu Beginn des Gießvorgangs reinigt man die Holz/Epoxidharz Oberfläche und richtet den Beschlag aus, indem man ihn auf drei Punkten auflegt. Einer dieser Punkte ist gewöhnlich der unterste Punkt des Beschlags, die anderen beiden sind kleine provisorische Holzklötzchen – Keile funktionieren gut –, die auf die richtige Höhe geschnitten sind. Wenn man den Beschlag genau an seiner richtigen Position hat, lädt man eine Spritze mit einer Mischung aus schwerem Füllstoff oder Zuschlagstoff 406 und Epoxidharz. Das angedickte Harz spritzt man an verschiedenen Stellen unter den Beschlag, damit ein paar Kontaktflächen mit dem Beschlag wie in Bild 26.14 hergestellt werden. Sobald diese Epoxidharz-Auflagen oder -brücken ausgehärtet sind, markiert man sorgfältig die Position des Beschlags und beklopft ihn zum Lösen mit einem Holzhammer. Bis jetzt hat man noch keine Löcher gebohrt und die Beschlagoberfläche noch nicht gereinigt.

Die beiden hölzernen Auflagerpunkte werden weggenommen und der Klebebereich massiv mit einer Mischung aus 406 und Harz aufgefüllt, so daß die voraus berechneten Hohlräume zwischen den zu klebenden Flächen aufgefüllt sind. Falls für die

Bild 26.13 – Geklebte Beschläge auf Deck und Kajütdach der IOR-Halbtonner-Rennyacht HOT FLASH. Einige der Beschläge haben ein angegossenenes Fundament.

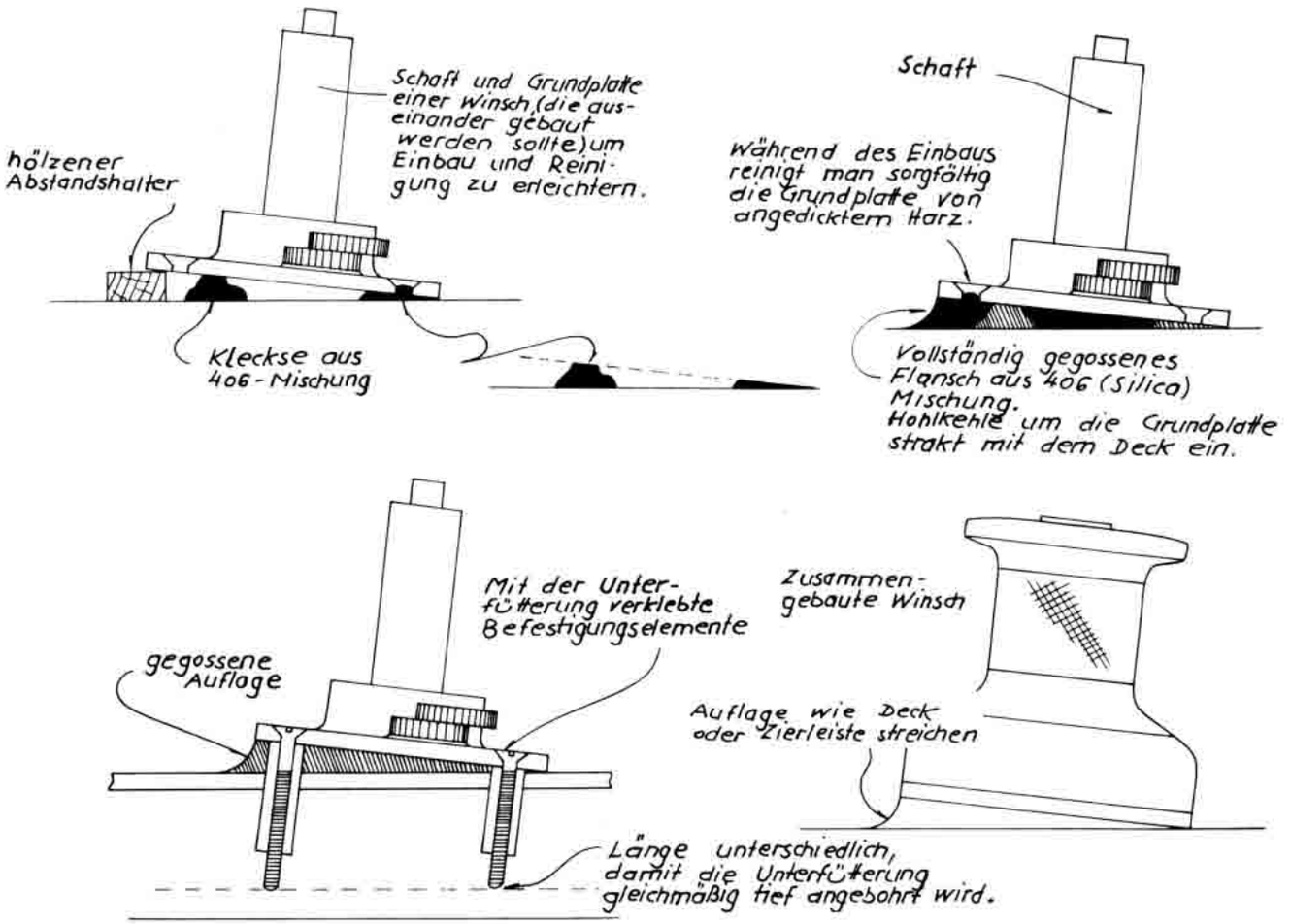

Schaft und Grundplatte einer Winsch (die auseinander gebaut werden sollte) um Einbau und Reinigung zu erleichtern.
hölzener Abstandshalter
Kleckse aus 406-Mischung
Schaft
Während des Einbaus reinigt man sorgfältig die Grundplatte von angedicktem Harz.
Vollständig gegossenes Flansch aus 406 (Silica) Mischung.
Hohlkehle um die Grundplatte strakt mit dem Deck ein.
Mit der Unterfütterung verklebte Befestigungselemente
gegossene Auflage
Zusammengebaute Winsch
Auflage wie Deck oder Zierleiste streichen
Länge unterschiedlich, damit die Unterfütterung gleichmäßig tief angebohrt wird.

Bild 26.14 – Gießen eines Flansches für eine Winsch.

Schrauben Standardlöcher verwendet werden sollen, kann man jetzt die Klebefläche des Beschlags zum Aufkleben vorbereiten. Falls übergroße Bohrungen verwendet werden sollen, muß der Beschlag nochmals abgenommen werden, nachdem das gegossene Harz ausgehärtet ist, damit man die größeren Löcher bohren kann. Wenn der Beschlag eine große Klebefläche hat, kann man ihn vorher mit einem Trennmittel einstreichen, damit er leichter wieder abzuheben ist. Falls man ein Trennmittel verwendet, müssen hinterher sowohl die Harz-, als auch die Metalloberfläche sorgfältig gereinigt werden, so daß keine Rückstände des Trennmittels zurückbleiben und die Verklebung beeinträchtigen. Die Lochmitten zu kennzeichnen, bevor der Beschlag abgenommen wird, darf man nicht vergessen. Dies kann das Herausbrechen überflüssigen ausgehärteten Harzes aus den Bohrungen im Beschlag einschließen.

Wenn man den Beschlag endgültig installiert, wird überflüssige Harzmischung an seinem Rand herausdringen, die man wegwischen muß. Das muß man vielleicht ein wenig modellieren, insbesondere bei einem großen Gußstück. Wir stellen uns meistens ein Brettchen von der gewünschten Form her, mit dem wir nochmal den Rand umfahren, solange das Harz noch nicht ausgehärtet ist. Erhält man nicht das gewünschte Resultat, so braucht man keine Angst zu haben, denn man kann die Oberfläche noch schleifen, feilen oder spachteln, um das gewünschte Ergebnis zu entwickeln.

Sobald der Guß ausgehärtet ist, kann man die Löcher für die Schrauben bohren und die Schrauben selbst in einem angemessenen Verfahren einsetzen. Wir weisen hier nochmals darauf hin, daß man die Schraubenlänge so an die Schräglage anpaßt, daß die Schrauben gleichmäßig tief im Holz sitzen.

Entfernen von geklebten Beschlägen

Zum Entfernen von geklebten oder angegossenen Beschlägen verwendet man Wärme. Bei Temperaturen oberhalb von 136°C beginnt ausgehärte-

tes Harz, seine mechanischen Eigenschaften zu verlieren. Das Harz weicht auf, und seine Festigkeit verringert sich erheblich. Ausgehärtetes Harz bohrt man auf, bevor man den Beschlag erneut montiert.

Begonnen wird mit dem Entfernen der einzelnen Schrauben. Diese wärmt man, wenn nötig, mit einem Lötkolben an. Sobald Schrauben und Bolzen lose sind, wärmt man den Beschlag selbst für kurze Zeit mit einem Propan-Brenner auf. Ein scharfer Schlag mit einem Holzhammer dürfte jetzt normalerweise den Beschlag lösen. Wenn er nicht leicht losbricht, soll man keine Gewalt anwenden. Dann erwärmt man den Beschlag ein zweites Mal und versucht es wieder.

Verkleben von Ballastkielen mit Holzrümpfen

Schwere Ballastkiele, besonders Flossenkiele, können enorme Punktlasten erzeugen. Das Problem ist so kompliziert, daß bei einigen Entwürfen selbst GFK-Boote mit ihren sehr dichten Glasfasern an der Rumpf/Kiel-Verbindung Schwierigkeiten hatten. Indem wir unsere Beschlag-Klebe-Verfahren auf die Montage von Kielen übertrugen, haben wir eine sehr gute Lösung dieses Problems gefunden.

Bei dem Standardverfahren zum Anbringen eines Kiels verwendet man zwei Bolzenreihen, die so nah an den Rändern des Kiels installiert sind, wie eben möglich. Diese führen vom Kiel bis in den Rumpf und üblicherweise auch durch lamellierte Bodenwrangen, die die Lasten auf die Rumpfaußenhaut übertragen. Die Kielbolzen zieht man im Rumpf mit Muttern an, welche den Kiel dicht an den Rumpf ziehen. Große Unterlegscheiben oder -platten dienen dazu, die Kräfte auf die Bodenwrangen zu übertragen.

Im Gegensatz zu anderen Teilen eines Bootes werden Kielbolzen Wechsellasten (d.h. abwechselnden Zug- und Druckkräften) ausgesetzt; die Zugspannungen an Kielbolzen auf dem Steuerbordbug ändern sich in Druckspannungen auf dem Backbordbug. Wenn ein Boot mit einem standardmäßigen, nicht geklebten Kiel krängt, werden die Zugspannungen über das obere Ende des Bolzens übertragen und die Druckkräfte werden direkt vom Kiel auf das Holz, das er am Bootsboden berührt, übertragen. Falls die Holzfasern unmittelbar am Kiel keine ausreichende Druckfestigkeit aufweist, wird es vom Kiel im Laufe der Zeit eingedrückt. Wenn die Kielbolzen nicht ständig nachgezogen werden, kommt der Kiel lose, und das verursacht Bewegungen, die das Holz noch mehr schädigen.

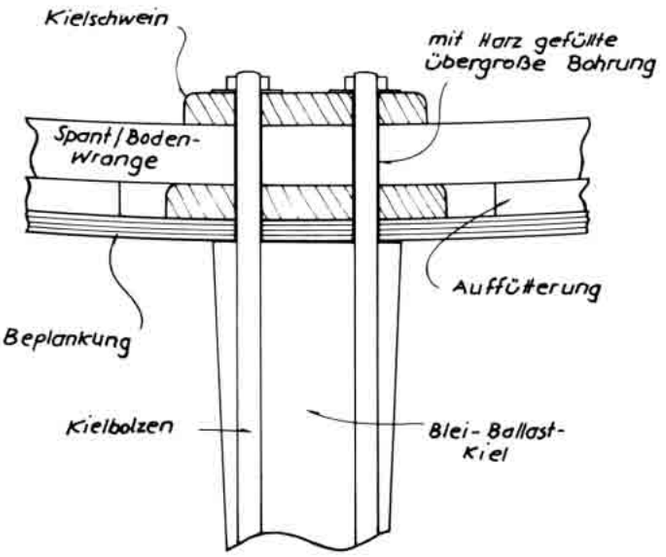


Bild 26.15 – Schnittansicht von geklebten Kielbolzen.

Wenn Kielbolzen in übergroßen Löchern in einem angemessenen Umfang mit Holzfasern einer entsprechenden Sorte verklebt werden, sind diese Probleme vorbei. Ein geklebter Bolzen ist einem normalen Muttern/Unterlegscheiben-System bei der Zugfestigkeit weit überlegen, da sie die Kräfte auf eine größere Fläche übertragen. Wichtiger noch: geklebte Kielbolzen können Druckkräften genauso wie Zugkräften widerstehen, wozu die normalen Kielbolzen bisher nicht in der Lage waren. Geklebte Bolzen erzeugen Schubspannungen in ihrer Umgebung, und da ist es irrelevant, ob diese Schubspannung von Druck- oder Zugkräften herrühren. Der Wechselbelastungsfaktor ist unerheblich, wenn geklebte Bolzen zur Verteilung der Lasten eingesetzt werden.

Bei der Konstruktion einer solchen Installation mit geklebten Kielbolzen ist es wichtig, eine solche

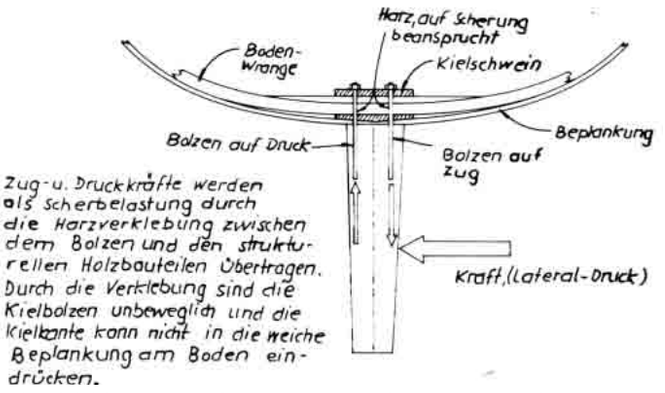

Harz, auf Scherung beansprucht
Boden-Wrange
Kielschwein
Beplankung
Bolzen auf Druck
Bolzen auf Zug
Zug- u. Druckkräfte werden als Scherbelastung durch die Harzverklebung zwischen dem Bolzen und den strukturellen Holzbauteilen übertragen. Durch die Verklebung sind die Kielbolzen unbeweglich und die Kielkante kann nicht in die weiche Beplankung am Boden eindrücken.
Kraft, (Lateral-Druck)

Bild 26.16 – Entwurfsüberlegungen für geklebte Kielbolzen.

Anordnung zu wählen, die die Kräfte auf eine so große Fläche überträgt, daß kein Teil der betroffenen Holzfasern überlastet wird. Ein schwerer Kiel bringt zweifellos höhere Belastungen, aber die Anordnung der Bolzen kann ein ebenso großer Faktor sein. Bei einem Kiel mit dünnem Querschnitt liegen die Bolzen dichter beieinander, und das ergibt aufgrund der kleineren Hebelarme größere Kräfte in den Bolzen. Andere Variable, die die Lastverteilung betreffen, sind die Anzahl und Größe der Bolzen, sowie Dicke und Dichte des Holzes mit dem sie verklebt werden.

Normalerweise verwenden wir schwerere Hölzer für die lamellierten Bodenwrangen, da sie höhere Festigkeiten, insbesondere unter Schubbelastungen, aufweisen. Lamellierte Bodenwrangen sind tief im Rumpf und mittig angeordnet, so daß das zusätzliche Gewicht keine große Bedeutung hat. Wir neigen zu Honduras Mahagoni und Esche, da sie in unseren Bereichen gut zu bekommen sind, eine Reihe anderer Holzsorten ist jedoch ebenfalls geeignet, solange sie sich gut mit WEST SYSTEM Epoxidharz verkleben lassen. Man macht einfach ein paar Probeklebungen, damit man sicher sein

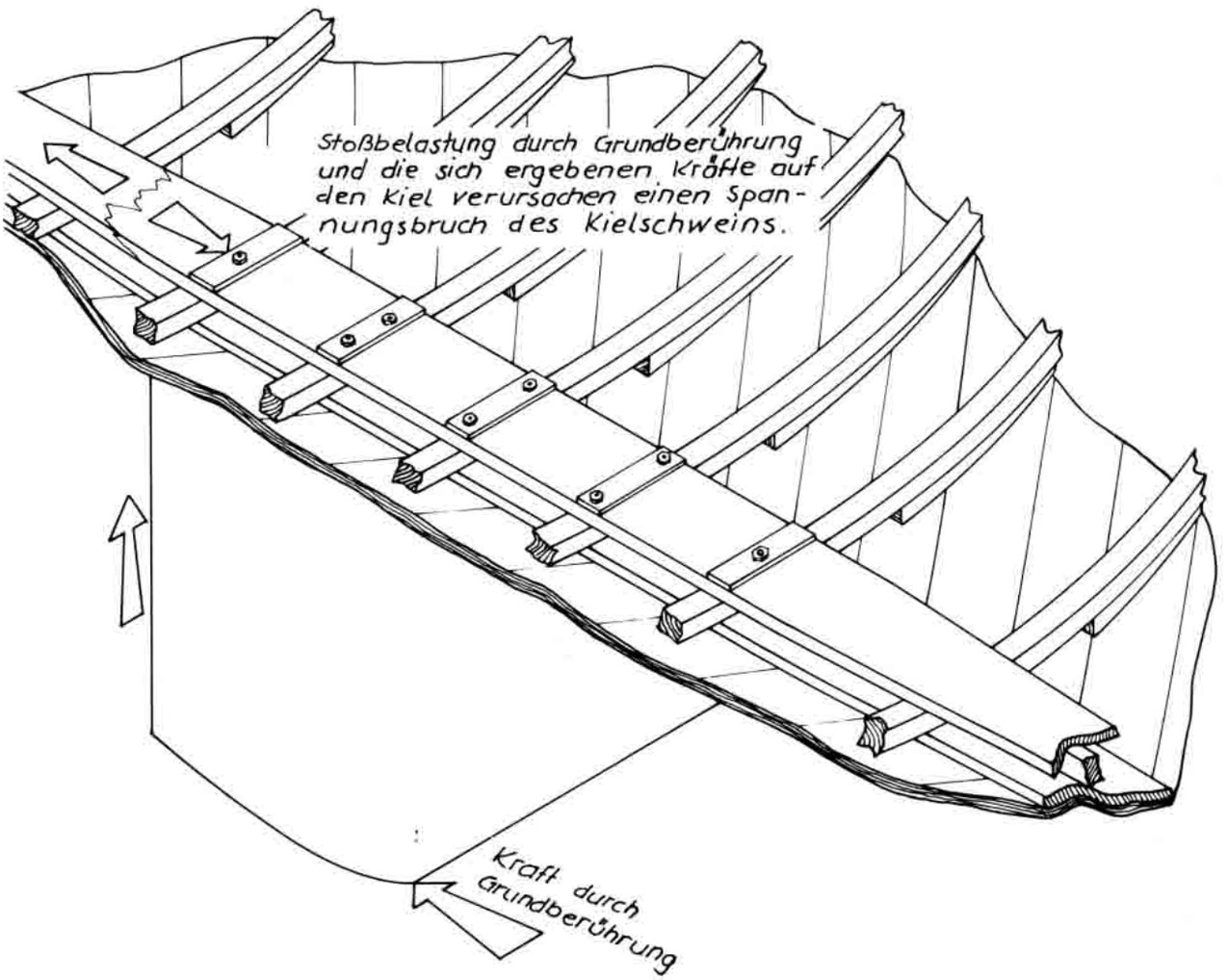

Stoßbelastung durch Grundberührung und die sich ergebenen Kräfte auf den Kiel verursachen einen Spannungsbruch des Kielschweins.
Kraft durch Grundberührung

Bild 26.17 – Die I-Träger-Kielschwein-Kombination bietet größte Festigkeit und Steifigkeit, sowohl in Quer- als auch in Längsrichtung. Neben der großen Festigkeit bietet dieses Kielschwein-Konzept eine große Sicherheit bei Grundberührung. Wenn ein Boot von entsprechender Größe mit einem modemen Flossenkiel ein unbewegliches Objekt wie einen Felsen trifft, wird eine ernst zu nehmende Kraft am hinteren Ende des Kiels erzeugt, die diesen Rumpfbereich nach innen drückt. Dies kann in vielen Fällen bleibende Schäden an der Rumpfstruktur hervorrufen. In dieser Situation wird das Kielschwein zu einem Opferelement der Rumpfstruktur, das einen großen Teil der Energie aufnimmt, bevor es aufgrund der Zugspannung (die größte Festigkeit von Holz) bricht. Ein Zugspannungsbruch des Kielschweins ist leicht zu reparieren und erfordert nur sehr wenig Zeit und Material. Das sind enorme Einsparungen, vergleicht man dies mit den möglichen Schäden, die der Rumpf an sich erleiden könnte, falls diese Anordnung nicht vorgenommen wurde. (In zwei Fällen, hatten von uns gebaute große IOR-Kiel-Yachten bedeutende Grundberührungen mit Felsen. Bei beiden Fällen funktionierte das Kielschwein-Konzept ausgezeichnet, indem es die meiste Energie, die durch die ungeheuren Grundberührungskräfte erzeugt worden ist, aufnahm.) Siehe Kapitel 16 wegen genauerer Details der Kielschweinkonstruktion.

kann, daß die gewählte Holzsorte sich mit WEST SYSTEM Epoxidharz verträgt.

Montage von geklebten Kielen

Die Details der Kielkonstruktion erarbeitet man schon zu einem frühen Stadium des Projekts. Sie beeinflussen nämlich die innere Rumpfstruktur und die Anzahl, Größe und Anordnung der lamellierten Spanten. Hat man sich entschieden, wie eine optimale Lastverteilung zu erreichen ist, beginnt man mit den Vorbereitungen zur Montage des Kiels. Dies macht man weit im voraus, damit die Verbindung von Kiel und Rumpf später mit möglichst wenig Kummer bewältigt werden kann.

Der Kiel soll so früh wie möglich gegossen werden, damit man genug Zeit hat, ihn für die endgültige Montage vorzubereiten. Er wird beigestrakt und dann mit einer Drahtbürste aufgerauht, damit die Oxidschicht entfernt wird. Anschließend beschichtet man den Kiel mit Epoxidharz und scheuert ihn nochmals, solange das Harz flüssig ist. WEST SYSTEM Epoxid verbindet sich mit sauberen Bleioberflächen sehr gut. Diese Beschichtung verbessert sowohl die Haftung der Farbe, als auch die Grenzfläche zwischen dem schweren Blei und dem leichteren Epoxidharz, und es vermindert die unmittelbare Oxidation. Man glättet die Oberseite des Kiels, d.h. die Fläche, die den Rumpf berührt. Falls er sehr schwer ist, kann man sich ein spezielles Montagegestell bauen, damit man ihn in der Werkstatt bewegen kann. (Siehe Bild 26.20)

Bei der einfachsten Art, Bolzen in einem Kiel zu montieren, benutzt man eine provisorische Vorrichtung mit der die Bolzen fixiert und dann vom Blei im Kiel eingegossen werden. Wenn die Bolzen ausgerichtet sind, überprüft man nochmals ihre genaue Lage. Sie müssen senkrecht zur Klebefläche des Kiels und zueinander parallel, in Fahrtrichtung und seitlich, sein.

Als nächstes stellt man eine Schablone wie in Bild 26.18 her, die die genaue Lage der einzelnen Kielbolzen wiedergibt, damit man sie auf den Rumpf zum Bohren der Löcher übertragen kann. Hierfür benötigt man eine Sperrholzplatte, die mindestens die Länge und die Breite der Kieloberseite hat. Zunächst markiert man hierauf die genaue Lage der Vorder- und Achterkante, damit die Mittellinien von Kiel und Rumpf nachher fluchten. Dann legt man sie auf die Bolzen und markiert jeden einzelnen von ihnen, nachdem man die Schablone ausgerichtet hat. Die Bolzenlöcher schneidet man ganz grob aus und läßt dabei jeweils einen breiten Rand, damit die Schablone leicht

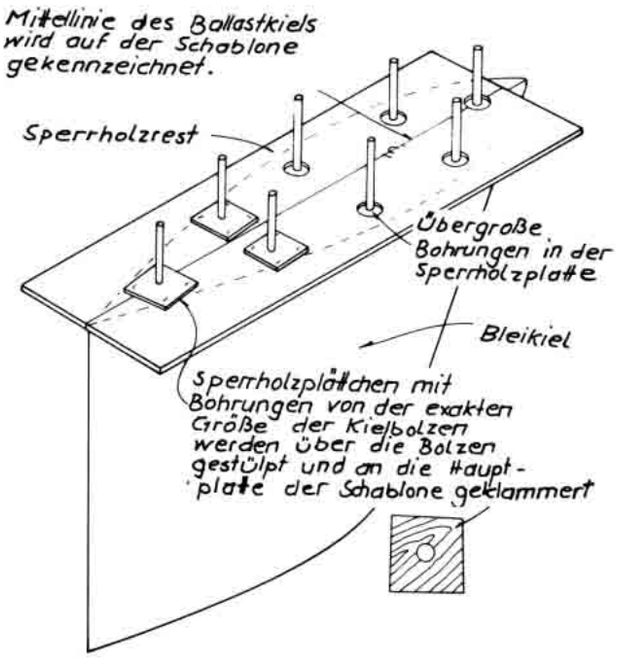

Mittellinie des Ballastkiels wird auf der Schablone gekennzeichnet.
Sperrholzrest
Übergroße Bohrungen in der Sperrholzplatte
Bleikiel
Sperrholzplättchen mit Bohrungen von der exakten Größe der Kielbolzen werden über die Bolzen gestülpt und an die Hauptplatte der Schablone geklammert

Bild 26.18 – Herstellen einer Kielbolzen-Schablone.

über die Bolzen rutscht. Das drückt man nach unten, bis es glatt aufliegt.

Sobald dies getan ist, macht man quadratische oder runde Sperrholzplättchen für jeden Bolzen und bohrt in der Mitte der Plättchen ein Loch mit dem exakten Bolzendurchmesser. Über die einzelnen Bolzen schiebt man jetzt jeweils ein Plättchen, das man mittig zu dem Bolzen zentriert, und klammert es fest. Dann bittet man mehrere Leute, bei dem genau senkrechten Abheben der Schablone zu helfen. Falls sie sich an Bolzen verfängt, kann man sie leicht verbiegen. Jegliche Ausrichtungsfehler korrigiert man jetzt noch: Presspassungen durch nicht parallele Bolzen können bei der Montage des Kiels zu großem Ärger führen.

Wenn man bis jetzt noch keine lamellierten Bodenwrangen eingebaut hat, benutzt man die Kielschablone und die gegebene Bolzenanordnung als Richtschnur für eine genaue Maßarbeit. Wenn die Bodenwrangen bereits eingebaut sind, justiert man die Schablone so, daß die Bolzen besonders vorteilhaft durch sie hindurch führen. Die Sperrholzschablone wird sauber nach der Mittellinie ausgerichtet, und die Bolzenlöcher werden sorgfältig auf den Wrangen oder dem Kielschwein markiert.

Der Durchmesser der durch die Bodenwrangen führenden Bolzen wird sorgfältig bestimmt, bevor man mit dem Bohren beginnt. Der Durchmesser sollte mindestens 3 mm größer sein als die Bolzen. Eine wichtige Begrenzung für die Größe der Bohrungen ist die Größe der lamellierten Bodenwran-

gen. Ein größeres Loch verteilt die Last auf eine größere Fläche, nimmt man jedoch zu viel Material weg, können die Bodenwrangen geschwächt werden. Bevor man endgültig über die Lochgröße entscheidet, wägt man die erforderliche Fläche zur Lastverteilung gegen die Dimensionierung der Bodenwrangen ab.

Eine Vergrößerung des Durchmessers von übergroßen Bohrungen hat Vor-und Nachteile. es ist sehr schwierig, Toleranzen von 1,5 mm bei einer Serie von Löchern einzuhalten. Wenn man den Lochdurchmesser vergrößert, braucht man sich keine großen Gedanken über die Einhaltung von solchen engen Toleranzen zu machen. Die Vergrößerung des Durchmessers um 6 mm für einen Ringradius von 3 mm erleichtert die abschließende Anpassung von Kiel und Rumpf erheblich. Beim Bohren der Löcher benutzt man entweder eine Vorrichtung, oder bittet ein paar Freunde um Hilfe, wenn man es mit dem Auge kontrollieren möchte. In beiden Fällen muß man eine Bohrmaschine mit großem Motor haben, in die man auch große Bohrer stecken kann. Der Bohrer solte einen langen Schaft haben: in manchen Fällen sind 500 – 750 mm der ideale Längenbereich. Falls man keine Bohrer kaufen kann, die lang genug sind, läßt man sich in einer Schlosserwerkstatt einen Schaft auf einen Standardbohrer schweißen.

Das Hauptziel des Bohrvorgangs sind genau parallele Bolzenlöcher, die der Bolzenanordnung entsprechen. Obwohl es zusätzliche Arbeit kostet, eine Vorrichtung zum Bohren zu bauen, führt sie zu den genausten Ergebnissen. Das Bohren eines Lochs in einen großen Holzklotz ist eine gute und einfache Methode. Dieses Loch bohrt man mit einer Ständerbohrmaschine, damit es genau senkrecht zum Boden des Klotzes ist. Eine andere, in Bild 26.19 gezeigte Methode fängt mit zwei Klötzen an, entlang deren Mittellinien man einen Sägeschnitt macht, sie zusammenklebt und schließlich die Kerben als Führung zum Bohren benutzt. Man kann auch halbe Löcher in die Holzklötze fräsen und sie schließlich zusammenleimen.

Sobald man die Vorrichtung hergestellt hat, bringt man sie in den Rumpf. Der Boden des Blocks muß in einer perfekt ebenen Fläche gehalten werden, auf der die Vorrichtung von Loch zu Loch geführt wird. Um eine gleichmäßig flache Ebene einzurichten, zwingt man eine dicke Sperrholzplatte über den lamellierten Wrangen fest, und überprüft sie mit einer Wasserwaage. An den Löchern schneidet man übergroße Stücke aus dem Sperrholz, damit man die Markierungen auf dem Kielschwein oder den lamellierten Bodenwrangen erkennen kann. Mit Hilfe des Bohrers bohrt man mindestens 10 mm tiefe Starterlöcher an allen Positionen, damit man die Vorrichtung korrekt ausrichten kann. Es ist sinnvoll, die Vorrichtung festzuzwingen oder anzuschrauben, so daß sie während des Bohrens gut fixiert ist.

Obwohl eine Vorrichtung zu bevorzugen ist, kann man auch mit der einfachen visuellen Methode hinreichend genaue Ergebnisse erzielen. Diese Methode beruht auf den koordinierten Anstrengungen von drei Personen: einer Person, die das eigentliche Bohren übernimmt und zwei „Richtungsgebern“, welche die Lage des Bohrers mit Hilfe von Wasserwaagen beobachten und ggf. korrigieren. Diese Methode erfordert einen Bohrer, der so lang wie möglich ist, so daß man beim Ausrichten des Bohrers eine optimale visuelle Genauigkeit erreicht. Die bei den Anweiser müssen den Bohrer sehen können, einer von vorne, der andere von der Seite, wobei sie senkrecht gestellte Wasserwaagen zur Sichtkontrolle und zum dirigieren des Bohrers verwenden. Der „Bohrer“ steht so, daß er beide Anweiser beobachten kann, die ihm Zeichen geben, in welche Richtung die Bohrmaschine bewegt werden muß, um wieder senkrecht zu stehen. Bei diesem Verfahren sind die ersten 50 – 75 mm entscheidend, da die Richtung des Bohrers von da an nur noch sehr schwer geändert werden kann. Damit dieses Verfahren funktioniert, muß der Rumpf immer noch eben ausgerichtet, und die Bolzen im Kiel senkrecht zur Wasserlinie orientiert sein.

Das Ausrichten der Kielbolzenschablone, Anzeichnen der Löcher und das Bohren können sowohl von innen als auch von außen (bevor der Rumpf umgedreht wird) stattfinden. Falls man von außen arbeiten will, kommt lediglich die Schwierigkeit hinzu, daß man die Rumpfmittellinie genau anzeichnen und die Positionen der einzelnen lamellierten Bodenwrangen in der Längsschiffsrichtung von innen übertragen muß. Man sollte den Rumpf nicht von seiner Bauhelling nehmen, solange diese Maße nicht übertragen und gebohrt sind. Diese Maße lassen sich am besten mit einer langen Wasserwaage in Quer- und Längsrichtung übertragen.

Sobald man die Löcher gebohrt hat, legt man die Kielbolzenschablone innen und außen nochmals an, um die Genauigkeit der Bohrungen zu überprüfen. Die Löcher sind auf der Seite, von der aus man gebohrt hat, üblicherweise ziemlich genau, auf der Gegenseite können sich jedoch einige Ungenauigkeiten ergeben; die durch falsches Ausrichten oder Ausbrechen des Bohrers entstanden sind. Sorgfältig markiert man diese Fehler und nimmt dann eine

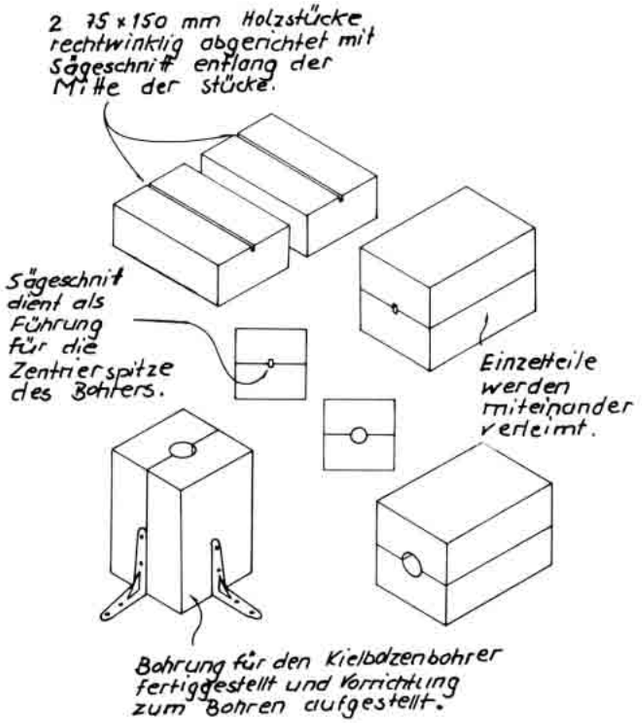

2 75 x 150 mm Holzstücke rechtwinklig abgerichtet mit Sägeschnitt entlang der Mitte der Stücke.
Sägeschnitt dient als Führung für die Zentrierspitze des Bohrers.
Einzelteile werden miteinander verleimt.
Bohrung für den Kielbolzenbohrer fertiggestellt und Vorrichtung zum Bohren aufgestellt.

Bild 26.19 – Vorrichtung zum Bohren der Löcher für die Kielbolzen.

Rundraspel, um das überflüssige Material wegzunehmen, so daß die Bohrungen mit der Schablone übereinstimmen. Normalerweise ergibt sich daraus kein Schaden, sondern nur leicht vergrößerte Löcher, die den positiven Effekt haben, daß sie eine größere Oberfläche bieten. Der einzige Nachteil ist die mögliche Schwächung der lamellierten Bodenwrange selbst. In den meisten Fällen ist dies jedoch nicht so schlimm. Dann prüft man mit der Schablone zum letzten Mal, ob die Löcher die aus dem Kiel ragenden Bolzen aufnehmen können, ohne daß sie das Holz berühren. Dann kann man die abschließenden Vorbereitungen zur Kielmontage treffen.

Normalerweise ist dies die letzte größere Arbeit an einem Boot, die man erst unmittelbar vor dem Stapellauf durchführen muß. Bis der Kiel montiert wird, soll der Rumpf am besten so dicht am Boden bleiben, wie es geht, damit er gut zugänglich ist. Zur Montage des Kiels muß man den Rumpf jedoch so hoch aufbocken, daß man den Kiel und die Bolzen bequem unter ihm in die richtige Lage bewegen kann. Sobald der Kiel in der groben Lage stimmt, bewegt man ihn noch so viel, bis man den Rumpf auf ihn herunterlassen kann.

Hat man den Kiel ausgerichtet, wird der Rumpf über die Bolzen gesenkt, wobei ein Spalt von ca. 50 – 75 mm zwischen Rumpf und Kiel bleiben soll. jetzt kann man abschließend Messungen durchführen, mit denen man Diskrepanzen zwischen den aufeinanderliegenden Oberflächen von Kiel und Rumpf erkennen kann. Man überprüft die Kielbolzen visuell, daß mit Sicherheit keine Aufhänger existieren, die verhindern, daß der Rumpf glatt auf der Kielfläche aufliegt.

Die Bereiche der Kontaktfläche am Bootsboden, die vor dem vordersten und hinter dem hintersten Kielbolzen liegen, streicht man mit einem Trennmittel ein, damit das Harz in diesem Bereich nicht kleben kann. Der Grund dafür ist, daß der Kiel im Gegensatz zur hölzernen Rumpfstruktur eine feste, unflexible Masse ist. Im Laufe der Zeit wird es mit Sicherheit zu Bewegungen zwischen Teilen des Rumpfes und dem Kiel kommen. Dies tritt hinter den äußersten Bolzen auf, sowohl vorne, als auch hinten, und führt zu feinen Haarrissen. Wenn man den Kiel mit Harz an den Rumpf klebt, treten die Risse innerhalb der Holzstruktur auf, und bieten der Feuchtigkeit also die Möglichkeit, ins Holz einzudringen. Das Trennmittel läßt die Risse zwischen den Harzoberflächen auftreten und so kann das Wasser harmlos zwischen Harz-geschützte Flächen sickern.

Die Bleioberfläche sollte bereits einigermassen sauber sein, leichtes Schleifen mit Schleifpapier legt aber wieder frisches Metall frei, wodurch eine gute Verklebung mit dem Harz zustande kommt. Die Kontaktflächen sind nun zum abschließenden Anpassen bereit. Jetzt sind nur noch ein paar Bezugspunkte zu ermitteln, an denen man, bevor das Harz ausgehärtet ist, überprüfen kann, ob der Kiel auch tatsächlich in seiner richtigen Lage zum Rumpf ist. Gute Vorbereitungen helfen, daß der Kiel in seiner exakten Lage in Längsrichtung sitzt, wenn er glatt aufliegt. Manchmal bevorzugt ein Kiel jedoch die eine oder andere Seite, anstatt in der Querrichtung zum Rumpf perfekt ausgerichtet zu sein. Falls man akkurate Wasserlinien auf dem Rumpf angerissen hat, kann man an gegebenen Abständen von vorne von der Wasserlinie an beiden Seiten zum Kielfuß messen und den Rumpf so justieren, daß dieses Maß auf beiden Seiten gleich groß ist.

Das endgültige Absetzen des Rumpfes auf den Kiel erfordert die koordinierten Bemühungen von mehreren Leuten. Man mischt eine ausreichende Harzmischung aus gleichen Teilen Quarzmehl und schwerem Füller an, mit der man die gesamte Klebefläche des Kiels einstreicht. Man benötigt genug angedicktes Epoxidharz, damit man sicherstellen kann, daß keine Hohlräume zwischen Kiel und Rumpf verbleiben; dies ist eine Menge, die manchmal so groß ist, daß zwei oder drei Leute gleich-

Bild 26.20 – Montagegestell für den Kiel, damit er abschließend gestrakt und bewegt werden kann.

zeitig getrennte Gefäße anmischen. Die Mischung muß so dick sein, daß sie nicht wegläuft.

Großzügig verteilt man sie auf der Kielklebefläche. Den Rumpfboden streicht man leicht ein. Bedenken Sie, daß sie von dem Zeitpunkt an, zu dem Sie den Kleber auftragen, mit einem Zeithandicap arbeiten. Der Rumpf muß auf den Kiel abgesenkt und ausgerichtet werden, bevor das Epoxidharz hart wird. In den meisten Fällen hat man zwischen 20 Minuten und einer Stunde zur Verfügung. Solange man gut vorbereitet ist, bereitet das keine Schwierigkeiten.

Bild 26.21 – Einfahren eines 4,5t-Kiels auf einem speziell angefertigten Montagegestell. Der Kiel kann geringfügig von einer zur anderen Seite oder vor- und zurückgerutscht werden.

Wenn der Rumpf in seiner endgültigen Lage ist, quillt überflüssiges Harz aus der Rumpf/Kiel-Verbindung heraus. Dieses überflüssige Harz wird entfernt und zur Herstellung einer Hohlkehle zwischen Kiel und Rumpf verwendet, wenn dies gewünscht wird. Mit einem Lappen und Lösungsmittel wischt man Kleberreste von Rumpf und Kiel ab.

Sobald das Epoxidharz zwischen dem Rumpf und dem Kiel ausgehärtet ist, beginnt die zweite Phase der Verklebung des Kiels. Mit einer Spritze füllt man die einzelnen Bolzenlöcher bis zum Rand mit flüssigem Epoxidharz auf. Die einzelnen Löcher müssen kontinuierlich mit frischem Harz aufgefüllt werden, da von der enormen offenen Holzoberfläche sehr viel Harz aufgesogen wird. Hierbei hilft manchmal ein Stück Draht, mit dem man um den Bolzen herum auf- und abstochert.

Abnehmbare geklebte Kiele

Das größte Problem von geklebten Kielen ist, sie zu entfernen. Geklebte Kielbolzen können herausgezogen werden, aber nur unter großen Schwierigkeiten. Falls man einen geklebten Kiel aus irgendwelchen Gründen abnehmen möchte, versucht man es mit einem Gewindebohrer, der aus einem Rohr gefertigt ist, das über die Kielbolzen gleitet.

Falls man vorhat, den Kiel regelmäßig zum Transport abzunehmen, verwendet man das folgende alternative Kielmontage-Verfahren. Anstatt die Bolzen mit dem Holz zu verkleben, schneidet man ein Gewinde oder Rillen an die Außenseite von rostfreien Rohrstücken. Die Kielbolzen führt man wie in Bild 26.22 durch diese Hülsen. Mit geringfügigen Änderungen kann diese Grundidee auch für Befestigung anderer abnehmbarer Rumpfdurchführungen genutzt werden.

Man wählt dazu Niro-Rohr oder anderes Rohrmaterial von ausreichendem Innendurchmesser, das den Kielbolzen aufnehmen kann. Für jedes Bolzenloch schneidet man eine Hülse, die auf dem Kiel aufliegt und die Balkweger im Innern des Rumpfes überragt. Da das Blei weich ist, schraubt man zunächst Muttern auf den Kielbolzen, bevor der Kiel gegossen wird, so daß sie glatt mit der Kieloberseite abschließen oder leicht über dem Blei bleiben. Dies trennt den Kiel und den Rumpf. Die Rohre mit dem Gewinde stülpt man nun über die Bolzen und zieht sie mit Muttern fest. Wahrscheinlich muß man sich provisorische Muttern herstellen, die durch die

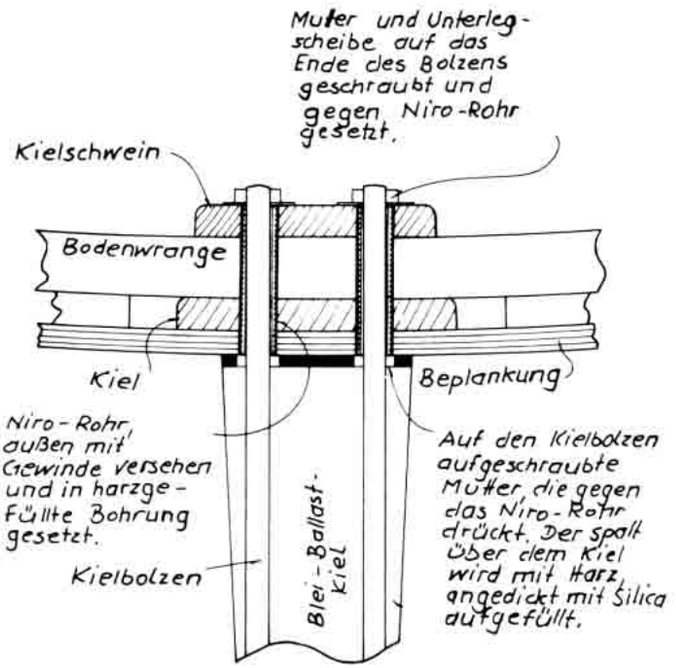

Mutter und Unterlegscheibe auf das Ende des Bolzens geschraubt und gegen Niro-Rohr gesetzt.
Kielschwein
Bodenwrange
Kiel
Beplankung
Niro-Rohr, außen mit Gewinde versehen und in harzgefüllte Bohrung gesetzt.
Kielbolzen
Blei-Ballastkiel
Auf den Kielbolzen aufgeschraubte Mutter, die gegen das Niro-Rohr drückt. Der Spalt über dem Kiel wird mit Harz, angedickt mit Silica aufgefüllt.

Bild 26.22 – Abnehmbarer angeklebter Kiel.

Löcher im Rumpf passen, aber die Rohre gut festhalten. Die Verbindungsstelle zwischen Rohr und Kiel wird mit angedicktem Epoxidharz abgedichtet. Dann baut man den Kiel genauso ein, wie es für geklebte Kiele beschrieben ist. Danach läßt man den Kiel herunter und sägt überstehendes Rohr ab. Der Kiel wird mit einer guten Dichtung um die Bolzen montiert.

Verkleben von Rumpfdurchführungen in Rohrform

Ruder- und Propellerschäfte, Cockpitlenzer und andere Beschläge führen oft in Rohren durch die Rumpfschale, um das Stirnholz zu schützen. Diese Rohre müssen wasserdicht und gut zu verkleben sein, aber solche sind nicht leicht zu bekommen. Wir lösen dieses Problem, indem wir Rohre für die Rumpfdurchführungen aus WEST SYSTEM Epoxidharz und Glasfasern herstellen. Dazu gibt es viele Verfahren.

Ein sehr populäres Verfahren ist es, ein Plastikrohr oder eine Metallstange mit dem richtigen Durchmesser als Form zu verwenden. Die Form muß sauber sein und darf keine Kerben oder Kratzer aufweisen. Man bestreicht sie mit Autowachs oder einem anderen Trennmittel.

Als nächstes tränkt man zwei Lagen Glasfasern und wickelt sie um die Form. Das Harz läßt man aushärten. Dann nimmt man ein scharfes Messer und trennt das Glasfasergewebe auf der gesamten Länge auf. Jetzt bricht man das Glas vom Rohr los, läßt es jedoch im Moment noch an Ort und Stelle. Dieser Schnitt ist notwendig, weil die Form vielleicht nicht völlig rund ist; ohne den Schnitt könnte es äußerst schwierig sein , das fertige Rohr von der Form zulösen. Nun tränkt man weitere Gewebelagen und wickelt sie um die Form, bis die gewünschte Dicke erreicht wird. Etwas Epoxidharz sickert sicherlich durch den Schnitt, aber das ist kein Problem. Sobald das Harz ausgehärtet ist, nimmt man das Rohr von der Form.

Bei einer leicht modifizierten Technik können auch Aluminiumrohre verwendet werden. Dann streicht man das Aluminium mit einem hitzebeständigen Trennmittel ein – Teflon®-Spray ist gut geeignet – und wickelt Glasfasergewebe und Epoxidharz wie vorher herum. Dann erwärmt man das Rohr auf ca. 55°C mit einem Fön oder einer Heißluftpistole auf. Man hält es warm, bis das Epoxidharz ausgehärtet ist.

Wenn das Aluminium erwärmt wird, dehnen sich das Aluminium und das getränkte Glasfasergewebe aus. Sobald es sich abkühlt, schrumpft das Aluminium auf sein ursprüngliches Maß, das Glasfaser/Epoxidharz-Rohr bleibt jedoch etwas größer. So ist es möglich, daß man das neue Rohr entfernen kann. Falls sich das Glas nur schwer von der Form ziehen läßt, kann man versuchen, das Rohr mit Zangen abzuziehen.

Eine Abänderung dieses Verfahrens kann zur Herstellung von guten Lagern verwendet werden. Man vermischt Epoxidharz mit Colloidalem Silica oder Graphitpulver und trägt das auf das Teflonbeschichtete Aluminiumrohr auf. Nun erwärmt man das Alurohr, bis das angedickte Harz einigermaßen hart geworden ist. Dann tränkt man Glasfasern mit Eoxidharz, wickelt es um Rohr und Klebermischung und läßt es aushärten. Man läßt das Teil abkühlen und zieht es mit Zangen ab.

Ausgewählte Literatur

American Boat and Yacht Council, Inc. *Standards and Recommended Practices Jor Small Craft.* Amityville, NY: American Boat and Yacht Council, Inc.

Cagle, Charles V. *Handbook of Adhesive Bonding.* New York: McGraw-Hill, 1973.

Chapelle, Howard I. *Boatbuilding.* New York: W. W. Norton & Co., 1941.

Cook, Peter. *Boatbuilding Methods.* London: Adlard Coles Ltd., 1971.

Creagh-Osborne, Richard. *Dinghy Building.* Clinton Corners, NY: John de Graff, Inc., 1977.

Duffett, lohn. *Boatowner's Guide to Modern Maintenance.* New York: W. W. Norton & Co., 1985.

Forest Products Laboratory. *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material.* U.S. Department of Agriculture Handbook No. 72. Washington, D.C.: Government Printing Office, 1974.

Gilpatrick, Gil. *Building a Strip Built Canoe.* Freeport, ME: DeLorme Publishing, 1985.

Gougeon Brothers, Inc. *Technical Bulletins Nos. 1-3.* Bay City, MI: Gougeon Brothers, Inc., April, 1985.

Guzzwell, John. *Modern Wooden Yacht Construction,* Camden, ME: International Marine, 1979.

Hazen, David. *The Stripper's Guide to Canoe Building.* Larkspur, CA: Tamal Vista, 1982.

Kahan, Del F. *Marine Electrical Practrice. Pleasure Craft Direct Current Systems.* Newsport Beach, CA: Marinetics Press, 1972.

Kinney, Francis S. *Skene's Elements of Yacht Design.* New York: Dodd, Mead & Co., 1973.

Marinetics Corporation. *Marine Electrical (catalog and handbook).* Newport Beach, CA: Marinetics Press.

Michelon, Leno C. and Devereaux, Raymond J. *Composite Aircraft Manufacture and Inspection.* New York: Harper & Brothers, 1944.

Miller, Conrad. *Your Boat's Electrical System.* New York: Hearst Corp., 1973.

Moores, Ted and Mohr, Merilyn. *Canoecraft.* Camden, East Ontario, Canada: Camden House, 1983.

Munitions Board Aircraft Committee. *Design of Wood Aircraft Structures ANC-18, 1951.* Springfield, VA: National Technical Information Service/U.S. Department of Commerce Reprint AD-490-100.

Wood Structural Design Data. Vol. 1. Washington, DC: National Lumber Manufacturers Association, 1941.

Offshore Racing Council. *Special Regulations Governing Minimum Equipment and Accommodation Standards,* January 1978. (Available from the U.S. Yacht Racing Union, Box 209, Goat Island, Newport, RI 02840.)

Pretzer, Roger. *Marine Metals Manual. A Handbook for Boatmen, Builders and Dealers.* Camden, ME: International Marine, 1976.

Spurr, Daniel. *Upgrading The Cruising Sailboat.* Newport, RI: Seven Seas, 1983.

Steward, Robert M. *Boatbuilding Manual, 2nd Edition.* Camden, ME: International Marine, 1980.

Tools and Their Uses. New York: Dover Publishing (U.S. Navy Bureau of Naval Personnei), 1973.

Vaitses, Allan H. *Lofting.* Camden, ME: International Marine, 1980.

Anhang A

Holzwerte

Die folgenden Informationen sind verschiedenen Quellen entnommen. In manchen Fällen haben wir zwei oder mehr Quellen in einer gemeinsamen Tabelle wiedergegeben. Man kann erkennen, daß die Angaben für manche Holzsorte unvollständig sind; das spiegelt sich in den erhältlichen Daten wieder. Wenn Sie an einer tiefgehenden Studie über Holz interessiert sind, empfehlen wir das Forest Products Laboratory's *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material,* U.S. Department of Agriculture Handbook, No. 72, erhältlich vom Government Printing Office in Washington, D.C.

In den Tabellen verwendete Begriffe[1]

Spezifisches Gewicht (oder Dichte): Das Verhältnis von dem Gewicht bei gegebenem Volumen von Holz zu dem Gewicht von Wasser bei gleichem Volumen.

Bruchfestigkeit (statische Biegung): Die errechnete Spannung an den obersten und untersten Fasern eines Balkens beim Bruch. Mißt die Fähigkeit des Balkens, schrittweise aufgebrachte Lasten für einen kurzen Zeitraum zu tragen.

Elastizitätsmodul: Das Maß für die Steifigkeit eines Materials. Es ist das Verhältnis von Spannung (Kraft pro Fläche) zu Dehnung (Längenänderung) unterhalb der Proportionalitätsgrenze. Die Durchbiegung eines Teils unter Last ist umgekehrt proportional zum Elastizitätsmodul des Materials, aus dem das Teil besteht. Dieser Kennwert kann zur Berechnung der Durchbiegung eines Konstruktionselementes unter Belastungen herangezogen werden, die die Proportionalitätsgrenze nicht überschreiten. Er kann auch zur Berechnung der Belastbarkeit von langen Druckstäben herangezogen werden, wo die Steifigkeit der entscheidende Faktor ist.

Arbeit bis zum Bruch: Die Fähigkeit des Holzes, Schlagbelastungen zu verkraften, die Spannungen oberhalb der Proportionalitätsgrenze erzeugen und groß genug sind, bleibende Verformungen oder Schäden im Holz zu hinterlassen. Dies sind Vergleichswerte.

Druck parallel zur Faser – Bruchfestigkeit: Die maximale Fähigkeit eines kurzen Holzstücks, schrittweise aufgebrachten Lasten über einen kurzen Zeitraum zu widerstehen. Dies ist anwendbar bei reiner Druckbelastung eines Elements, dessen Verhältnis von Länge zur geringsten anderen Abmessung nicht größer als 11 ist.

Druck senkrecht zur Faser – Faserspannung an der Proportionalitätsgrenze: Die größte kurzzeitige Belastung quer zur Faserrichtung, die ohne bleibende Verformung des Holzstücks aufgebracht werden kann.

Schub parallel zur Faser – Bruchfestigkeit: Die Fähigkeit von Holz, dem Verschieben von Fasern oder Schichten gegeneinander längs der Faserrichtung zu widerstehen.

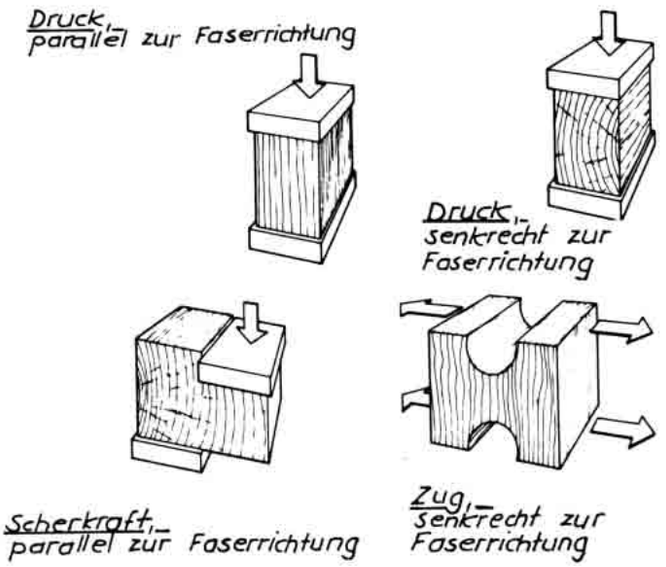
Zug senkrecht zur Faser – Bruchfestigkeit: Die mittlere maximale Spannung, die quer zur Faserrichtung ausgehalten wird. Diesen Wert erhält man, indem man die maximale Last durch die Fläche teilt, die unter Zug steht.

Seitliche Härte – bei Belastung senkrecht zur Faserrichtung: Die aufgetragenen Werte entsprechen der Kraft in Newton, die notwendig ist, eine Kugel mit einem Durchmesser von 11,3 mm 12,7 mm tief in die Oberfläche eines Probekörpers einzudrücken. Die Ergebnisse haben nur Vergleichswert.

Schlagbiegung – Fallhöhe beim Bruch: Ein Vergleichswert, der die Fähigkeit von Holz anzeigt, Stöße aufzunehmen.

Proportionalitätsgrenze: Die Grenze der Proportionalität zwischen Spannung und Dehnung (Verformung). Bis zu dieser Grenze verursacht jeder Spannungs anstieg eine proportionale Dehnung. Oberhalb dieser Grenze steigt die Dehnung bei gegebenem Spannungs anstieg schneller an und verursacht meistens bleibende Verformungen. Die Proportionalitätsgrenze wird benutzt, um Sicherheitsfaktoren für hölzerne Konstruktionselemente festzulegen.

[1] Excerpt aus National Lumber Manufacturers Association, *Wood Structural Design Data, Vol.1* (Washington, D.C., 1941), Seiten 11-13.


Druck, parallel zur Faserrichtung
Druck, senkrecht zur Faserrichtung
Scherkraft, parallel zur Faserrichtung
Zug, senkrecht zur Faserrichtung

Falls man 3,1 mm starkes Lamelliermaterial verwendet, hätte der gebogene lamellierte Spant 95% der Festigkeit eines ähnlichen geraden Stückes.

Bei der Anwendung dieser Formel muß man sich vor Augen halten, daß mehr Lamellierungen auch mehr Arbeit erfordern und größeren Materialverschnitt mit sich bringen. Zum Abwägen der mit sehr dünnen Lamellen erreichbaren Festigkeitssteigerung gegen die Kosten sollte man gesunden Menschenverstand benutzen.

A-2 – Auswirkungen der Krümmung auf die Biegefestigkeit

Wenn Lamellen in runde Formen gebogen werden, werden Spannungen erzeugt. Die folgende Formel, entnommen aus *Forest Products Laboratory's Wood Handbook,* Seite 10-8, gibt das Verhältnis der zulässigen Spannung in lamellierten runden Konstruktionselementen zu denen von geraden Elementen an. Man kann die Formel beim Entwerfen und Aufschnüren benutzen, um die angemessene Dicke der einzelnen Lamellenschichten von Steven, Spanten, Schotts, Knien und anderen gebogenen Kostruktionselementen zu bestimmen.

$$1{,}0 - (2000 / (R/t)^2)$$

mit R als dem Radius und *t* als der Dicke der Lamellen. Diese Werte müssen in denselben Einheiten angegeben sein.

Angenommen, man möchte den Hauptspant eines Folkeboots lamellieren. Auf dem Schnürboden sieht man, daß der kleinste Kimmradius dieses Spants 600 mm beträgt. Würde man nun einen 38 mm dicken Spant aus 9,3 mm starken Lamellen verleimen, betrüge die Festigkeit der gekrümmten Lamellierung nur ca. 50% der Festigkeit eines geraden Balkens mit demselben Querschnitt, was man wie folgt ausrechnet:

$$1{,}0 - (2000/ (600/9{,}3)^2)$$
$$= 1{,}0 - (2000 / 4096) = 0{,}512$$

A-3 – In kleinen Radien biegen

In Tests, die wir in unserem Labor durchgeführt haben, versuchten wir, den geringstmöglichen Biegeradius von ausgesuchten *trockenen* Bootsbauhölzern und Sperrholz zu ermitteln, bei dem sie noch nicht brechen. Die Probestücke waren 600 x 150 mm groß. Der durchschnittliche Feuchtigkeitsgehalt der Probestücke lag bei 7%. Die Beziehung zwischen der Faserrichtung des Sichtfurniers und der Längsachse der Sperrholz-Probekörper ist unten angegeben.

Furniere	Dicke (in mm)	Radius (in mm)
Dark red Meranti	3,1	203
Douglas Fir	3,1	305
Sitka Spruce	2,1	280
Red Cedar	3,1	255

Okoume Sperrholz Dicke (in mm)	Faser-orientierung	
6,3	5-lagig parallel	610
6,3	5-lagig senkrecht	407
4,7	3-lagig parallel	407
4,0	3-lagig parallel	203
4,0	3-lagig senkrecht	152

A-l-Mechanische Kennwerte von Hölzern die häufig mit WEST SYSTEM* Markenepoxidharz verwendet werden[1]

Holzart	Spez. Gewicht[3]	statische Biegung: Bruchfestigkeit (N/mm²)	statische Biegung: E-Modul[2] (10³N/mm²)	statische Biegung: Arbeit bis zum Bruch (10⁻³N/mm²)	Druck parallel zur Faser – Bruchfestigkeit (N/mm²)	Druck senkrecht zur Faser – Faserspannung an der Propotionalitätsgrenze (N/mm²)	Schub prallel zur Faser – Bruchfestigkeit (N/mm²)	Zug senkrecht zur Faser – Bruchfestigkeit (N/mm²)	Seitliche Härte – Kraft senkrecht zur Faser (N)	Schlagbiegung – Fallhöhe beim Bruch (mm)
Esche	0,55	66	9,8	4,5	27	4,6	9,5	4,0	4272	967
	0,60	106	11,9	4,8	51	7,9	13,4	6,5	5874	1094
Balsa (mittel)	0,17	20	4,0		12	0,7	2,1	0,8	445	
Birke	0,55	57	10,3	4,3	23	3,0	7,6	2,9	3471	1221
	0,62	114	13,8	5,6	56	6,7	12,9	6,3	5607	1399
Cedar (Alaska)	0,42	44	7,8	2,5	20	2,4	5,8	2,2	1958	687
	0,44	76	9,8	2,8	43	4,3	7,8	2,5	2581	738
Scheinzypresse	0,29	29	4,4	1,5	14	1,6	4,3	1,6	1023	381
	0,31	45	5,5	1,3	27	2,1	5,8	1,6	1424	305
Cedar (Port Orford)	0,39	45	8,9	2,0	22	2,0	5,8	1,2	1691	534
	0,43	87	11,7	2,5	43	4,9	9,4	2,7	2803	712
Western Red Cedar	0,31	36	6,5	1,4	19	1,6	5,3	1,6	1157	432
	0,32	52	7,6	1,6	31	3,2	6,8	1,5	1557	432
Douglas Fir (Küste)	0,45	53	10,7	2,1	26	2,6	6,2	2,1	2225	661
	0,48	85	13,4	2,7	50	5,5	7,8	2,3	3159	788
Hickory	0,64	76	10,8	6,4	32	5,8	10,4			1883
	0,72	137	14,8	6,9	63	12,1	16,7			1705
Lahuan (Agathis)	0,41	52	9,9		26		5,8		2225	
	0,44	78	11,5		40		7,5		2625	
Mahagoni (Honduras)	0,45	64	8,8	2,6	31		9,0		3115	
		80	10,4	2,1	45		8,9		3604	
Meranti, Dark Red	0,43	59	10,3	2,4	31				2492	
		83	11,1	3,1	48				2803	
Okoume/Gabun	0,37	50	7,8		27				1691	
Kiefer (Loblolly)	0,47	50	9,6	2,2	24	2,7	5,9	1,8	2002	763
	0,51	88	12,3	2,8	49	5,4	9,5	3,2	3070	763
Longleaf Pine	0,54	58	10,9	2,4	29	3,3	7,1	2,3	2625	890
	0,59	100	13,6	3,1	58	6,6	10,4	3,2	3871	865
Weymouthskiefer	0,34	34	6,8	1,4	17	1,5	4,7	1,7	1290	432
	0,35	59	8,5	1,8	33	3,0	6,2	2,1	1691	458
Ramin	0,59	67	10,8	2,4	37		6,8		2848	
		126	14,9	4,6	69		10,4		5785	
Black Spruce	0,38	37	7,3	2,0	18	1,0	4,5	0,7	1646	610
	0,40	71	10,5	2,8	37	3,6	7,0		2314	585
Sitka Spruce	0,37	39	8,5	1,7	18	1,9	5,2	1,7	1557	610
	0,40	70	10,8	2,5	39	4,0	7,9	2,5	2269	636
Teak	0,57	76	10,4	2,9	36		8,9		4761	
	0,63	88	10,9	2,7	49		10,2		4583	

[1] Auszug aus: *Forest Produkts Laboratory, Wood Handbook,* U.S. Department of Agriculture Handbook NO.72. (Government Printing Office, Washington, D.C., 1974), Seiten 4-7 – 4-17. Ergebnisse von Untersuchungen an kleinen, klaren, geradfaserigen Probekörpern.
Werte in der ersten Zeile der einzelnen Holzarten stammen von Untersuchungen an grünem Holz; diejenigen in der zweiten Zeile jeder Art sind auf 12% Holzfeuchte eingestellt.

[2] Elastizitätsmodul gemessen an einem einfach gestützten, mittig belasteten Balken mit einem Spannweite/Tiefe-Verhältnis von 14:1. Der Kennwert kann als Korrektur für den Effekt der Schub-Durchbiegung um 10% erhöht werden.

[3] Das spezifische Gewicht basiert auf dem Darrgewicht mit dem k"grünen" Volumen oder bei 12% Holzfeuchte.

* Eingetragenes Warenzeichen der Gougeon Brothers, Inc., U.S.A.

A-4 – Prozentuale Steigerung der Holzkennwerte bei 1% Verringerung der Holzfeuchte[1, 2]

	statische Biegung							
	Faserspannung an der Elastizitätsgrenze	Bruchfestigkeit	E-Modul	Bruch-arbeit[3]	Druck parallel zur Faser – Bruchfestigkeit	Druck senkrecht zur Faser	Schubfestigkeit parallel zur Faser	seitliche Härte
Esche	4,1	3,5	1,4	0,4	4,7	4,8	2,9	2,4
Birke	6,0	4,8	2,0	1,7	6,1	5,6	3,6	3,3
Scheinzypresse	5,4	3,6	1,8	-1,5	5,9	2,3	2,8	3,0
Port Orford Cedar	5,7	5,2	1,6	1,7	6,2	6,7	2,2	2,8
Western Red Cedar	4,3	3,4	1,6	1,3	5,1	5,1	1,6	2,3
Douglas Fir	4,5	3,7	1,8	1,9	5,5	5,0	1,7	2,9
Echtes Hickory	4,9	4,8	2,8	-0,7	5,9	6,6	-3,9	
Honduras Mahagoni	2,6	1,3	0.8	-2,9	2,5	3,9		1,0
Weymouthskiefer	5,6	4,8	2,0	2,1	5,7	5,6	2,2	2,2
Sitka Spruce	4,7	3,9	1,7	2,0	5,3	4,3	2,6	2,4

[1] Auszug aus Munitions Board Aicraft Committee. *Design ofWood Aircraft Sructures, ANC-1B, 1951* (National Technical Information Service/U.S. Department of Commerce Reprint AD-490 100, Springfield VA), Seite 13.
[2] Die Korrekturen der Festigkeitswerte sollten hintereinander je 1 % Änderung in der Holzfeuchte vorgenommen werden, bis die vollständige Änderung abgedeckt ist. Je 1 % Verringerung des Feuchtigkeitsgehalts wird der Festigkeitswert mit (1 + P) multipliziert, wobei P der prozentuale Korrekturfaktor ist, der in der Tabelle als Dezimalzahl angegeben ist. Je 1% Steigerung des Feuchtigkeitsgehalts wird der Festigkeitswert mit (1 + P) dividiert.
[3] Negative Werte bedeuten eine Reduzierung der Brucharbeit bei einer Verringerung des Feuchtigkeitsgehalts.

A-5 – Zugfestigkeit von Sperrholz und Furnier[1]

Holzart	Holzfeuchte (in%)	Spez. Gewicht[2] von Sperrholz	Zugfestigkeit[3] von 3-lagigem Sperrholz[4] (in N/mm²)	Zugfestigkeit[5] von 1-lagigem Furnier (in N/mm²)
Esche	10,2	0,60	46	68
Birke	8,5	0,67	93	139
Douglas Fir	8,6	0,48	43	65
White Fir	8,5	0,40	40	60
Khaya	12,7	0,52	38	56
Honduras Mahagoni	11 ,4	0,48	45	67
Weymouthskiefer	5,4	0,42	40	60
Redwood	9,7	0,42	33	50
Sitka Spruce	8,2	0,42	40	59
Lahuan	10,7	0,53	75	112

[1] Auszug aus Michelon, Leno C. and Devereaux, Raymond J. *Composite Aircraft Manufacture and lnspection,* (Harper & Brothers, NY, 1944), Seite 164.
[2] Basierend auf Darrgewicht und Volumen beim Versuch.
[3] Bezogen auf totale Querschnittsfläche.
[4] Parallel zur Faser der Oberflächen.
[5] Unter der Annahme , daß die neutrale Lage keine Last aufnimmt.
Die Werte basieren auf den Versuchen mit 3-lagigen Sperrholzplatten mit allen Lagen in Platten derselben Dicke und Art.

A-6 – Darrgewichte von Furnieren verschiedener Dicken[1]

Holzarten	spez. Gewicht[2]	Lufttrockene Holzfeuchte (in%)	Flächengewicht von Furnieren (in kg/m²) Furnierdicke (in mm) 1,6	3,1	4,7	6,25
Esche	0,58	8,9	0,92	1,84	2,76	3,68
Birke	0,63	9,6	0,99	2,00	3,00	4,00
Spanish Cedar	0,37	7,3	0,59	1,17	1,76	2,35
Red Cedar	0,31		0,56	1,12	1,67	2,24
Douglas Fir	0,51	6,2	0,81	1,62	2,43	3,23
Mahagoni, afrikanisch	0,46	8,0	0,73	1,46	2,19	2,92
Mahagoni, zentral-amerikanisch	0,49	7,9	0,78	1,56	2,34	3,11
Sitka Spruce	0,38	8,9	0,60	1,21	1,81	2,42

[1] Auszug aus MicheIon and Devereaux, Seite 163.
[2] Bezieht sich auf Darrgewicht und lufttrockenes Volumen.

A-7 – Ungefähre Gewichte von fertigen Western Red Cedar-Laminaten[1]

Anzahl von 3,1 mm dicken Lagen	mittleres Flächengewicht (in kg/m²)
4 (ges. 12,4 mm)	6,34
5 (ges. 15,5 mm)	8,05
6 (ges. 18,6 mm)	9,75
7 (ges. 21,7 mm)	11,46
8 (ges. 25,8 mm)	13,17
9 (ges. 28,9 mm)	14,63

[1] Schließt das Gewicht von WEST SYSTEM Harz ein, das zur Verleimung und Beschichtung sämtlicher Oberflächen verwendet wurde. Alle Probekörper wurden in den Versuchseinrichtungen der Gougeon Brothers, Inc. gewogen.

Anhang B

Dauerfestigkeit

Materialermüdung ist ein weites Thema mit vielen verschiedenen Elementen und Feinheiten, wodurch es schwer zu verstehen ist. Quer durch dieses Buch diskutieren wir die Dauerfestigkeit von Holz, Holz/Epoxid Kompositen und WEST SYSTEM Markenepoxidharz und vergleichen sie mit anderen Materialien.

1978, als wir ein experimentelles Entwicklungsprogramm für Windkonverter-Rotorblätter unter Vertrag der NASA begannen, hatte die Firma Gougeon Brothers, Inc. schon seit einigen Jahren Boote gebaut. Von da an waren wir mit einer andauernden und ausgedehnten Reihe von Forschungs- und Entwicklungsprogrammen beschäftigt. Der größte Anteil unserer Forschung galt grundlegenden Werkstoffprüfungen mit einem Schwerpunkt auf Langzeitdauerfestigkeit. Die Rotorblätter von Windturbinen, als besonders dynamische Konstruktionen, sind hohen Wechsellasten in einem schwierigen, zu Ermüdungserscheinungen neigenden Umfeld ausgesetzt. Um lange haltbare Blätter bei geringstem Gewicht konstruieren zu können, mußten wir in der Lage sein, die Lebenserwartung der Blätter unter diesen widrigen Bedingungen vorhersagen zu können. Dazu war es notwendig herauszufinden, wie viel Millionen Lastwechseln ein Material bei gegebener Belastung standhalten kann.

Dieses Programm hat uns in die Lage versetzt, inzwischen weit über 3.000 Rotorblätter zu bauen, von denen einige schon seit fünf Jahren ohne Versagen unter ihrer Entwurfsbelastung in Betrieb sind. Wir meinen, daß ein großer Teil des durch die Rotorblattentwicklung erlangten Wissens ebenso dazu verwendet werden kann, die Anstrengungen in Bootskonstruktion und -bau zu unterstützen. Aus unserer Forschung haben wir gelernt, starke, länger haltbare Konstruktionen zu bauen.

In Kapitel 5 haben wir die Dauerfestigkeitseigenschaften verschiedener verbreiteter Bootsbaumaterialien im Vergleich miteinander besprochen. Unserer Meinung nach ist es wichtiger, die Materialeigenschaften nach einer Million Lastwechseln als die maximale einmalige Belastbarkeit zu kennen. Wie wir in jenem Kapitel erklärt haben, erreicht ein Boot nach 833 Betriebsstunden ungefähr eine Million Lastwechsel. Da nur wenige Boote ständig gesegelt werden, kann es Jahre dauern, bis dieses Level erreicht wird. Niemand zählt die gesegelten Stunden, aber jeder weiß, wie alt ein Boot ist, und diese Tatsache neigt dazu, ein unangemessenes Vertrauen in die Konstruktion zu verstärken.

Bei der Bewertung von Bootsbaumaterialien haben sich die meisten Konstrukteure und Ingenieure auf die veröffentlichten Einzelbruchlasten gestützt. Der Grund dafür sind einfach Rentabilitätsüberlegungen. Es ist ziemlich einfach, einzelne Lasten auf einen Probekörper wirken zu lassen, bis er zer-

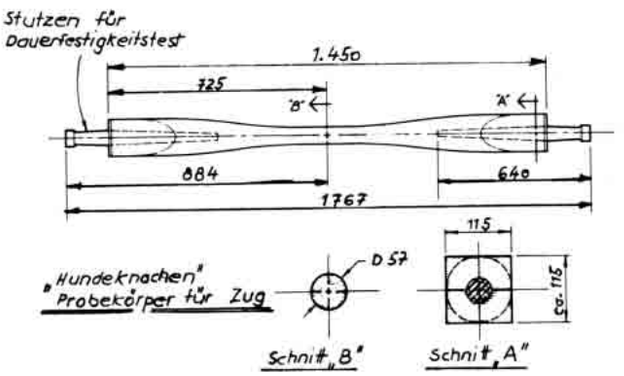


Bild 1 – Hundeknochen-förmiger Probekörper.

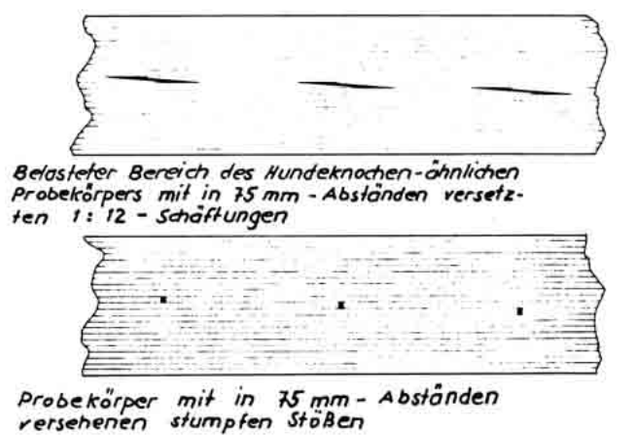

Belasteter Bereich des Hundeknochen-ähnlichen Probekörpers mit in 75 mm - Abständen versetzten 1 : 12 - Schäftungen
Probekörper mit in 75 mm - Abständen versehenen stumpfen Stößen

Bild 2 – Stumpfe und geschäftete Verbindungen in Probekörpern.

bricht. Für diesen Test benötigt man nur wenige Minuten, so daß viele Daten an einem Tag ermittelt werden können. Im Vergleich dazu kann das 10 millionenfache Be- und Entlasten eines einzigen Prüfkörpers durch Wechsellasten, die in einer Testmaschine erzeugt werden, über einen Monat dauern. Ein einzelner Meßwert kann mehrere Tausend Dollar kosten. Aufgrund dieses hohen Kosten- und Zeitaufwands gibt es für die meisten Materialien nur wenige gute Dauerfestigkeitswerte, was insbesondere die erst jüngst populär gewordenen Kompositmaterialien betrifft.

Ein weiteres Problem ist, daß unidirektionale Materialien nur sehr schwer zu testen sind. Wegen solcher Versuchsvariablen, wie der Qualität des Prüfkörpers, können die Meßwerte eine große Streuung aufweisen, was eher zur Verwirrung als zur Klärung des Materialverhaltens beiträgt. Die meisten Konstrukteure haben daher ihre eigenen Ermüdungsgrenzen für ausgewählte Materialien extrapoliert und willkürliche Annahmen über Sicherheitsfaktoren gemacht. Viele mußten erkennen, daß dies eine gefährliche Praxis ist.

Dauerfestigkeitsverhalten von Holz

Holz ist im allgemeinen ausgezeichnet widerstandfähig gegen Wechselbelastungen über lange Zeiträume. Diese Tatsache, verknüpft mit seiner exzelenten natürlichen Widerstandsfähigkeit gegen hohe Spannungskonzentrationen, macht Holz zu einem idealen Bootsbaumaterial. Unsere umfassenden Dauerfestigkeitsuntersuchungen ergeben die ersten präzisen Unterlagen über das Materialverhalten von Holz.

Um die Dauerfestigkeit von Holzlaminaten unter Zug, Druck sowie unter Zug-Druck (abwechselnde Belastung von vollständiger Zugbelastung bis zu vollständiger Druckbelastung) zu untersuchen, haben wir den in Bild 1 gezeigten Hundeknochenähnlichen Prüfkörper entwickelt. Bei allen vorherigen Untersuchungen über Holz-Dauerfestigkeit wurde ein befestigter Kragträger solange wiederholt belastet, bis er brach. Diese Arbeit führte man während des Zweiten Weltkriegs an Maschinen mit begrenzter Kapazität durch, und das führte zu großen Abweichungen bei den frühen Messungen. Die frühen Untersuchungen zeigten zwar, daß Holz eine ausgezeichnete Dauerfestigkeit besitzt, konnten aber keine quantitativen Aussagen bieten, um genaue zulässige Grenzwerte zu entwickeln.

Einige Ergebnisse unserer Dauerfestigkeitsuntersuchungen von ultraschallgeprüften Douglas Fir/ WEST SYSTEM Epoxid Verbundwerkstoffen, werden in Kapitel 5 wiedergegeben. Trotz der eingebauten Defekte durch stumpfe und geschäftete Verbindungen, wie in Bild 2 gezeigt, erwies sich Holz als ausgesprochen dauerfest. Wie wir in Kapitel 5 besprachen, glauben wir, daß die längsgerichteten mechanischen Eigenschaften für das Dauerfestigkeitsverhalten eines unidirektionalen Materials vielleicht weniger wichtig sind als zweitrangige oder quer zur Faser gerichtete Eigenschaften. Materialbrüche in Rümpfen sind vermutlich eher das Ergebnis dieser zweitrangigen Eigenschaften als von Zug- oder Druckspannungen.

Dauerfestigkeitsverhalten von Glasfasern

Bild 5.1 in Kapitel 5 vergleicht die Leistungen von Holz, Carbonfaser-Komposit und Glasfaser-Komposit bezüglich ihrer Dauerfestigkeit. Holz beginnt vielleicht mit einer geringeren einmaligen Bruchlast als die anderen Materialien, aber es behält prozentual einen höheren Anteil seiner ursprünglichen Festigkeit über einige Million Lastwechsel bei, als alle anderen Materialien.

Zur Untersuchung des Dauerfestigkeitsverhaltens von Glasfaser-Kompositmaterial wurden die Probekörper mit Hilfe eines transversalen Filamentwicklungsverfahrens vorbereitet, wodurch ca. 80% seiner Fasern in der Längsrichtung orientiert waren, wobei die Fasern in Winkeln zwischen 45° und 90° angeordnet wurden. Alle Probekörper wurden auf Zug und auf Druck und einige auf Zug-Druck untersucht. Die Prüfkörper variierten in ihrer Aufmachung. In der Hauptsache wurden zwei Wickelmuster mit Epoxidharz und Polyesterharz hergestellt.

Typische Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in den Diagrammen 3 und 4 gezeigt. Epoxidlaminate mit einer mittleren statischen Festigkeit von 419 N/mm² fielen auf 84 N/mm² bei zehn Millionen

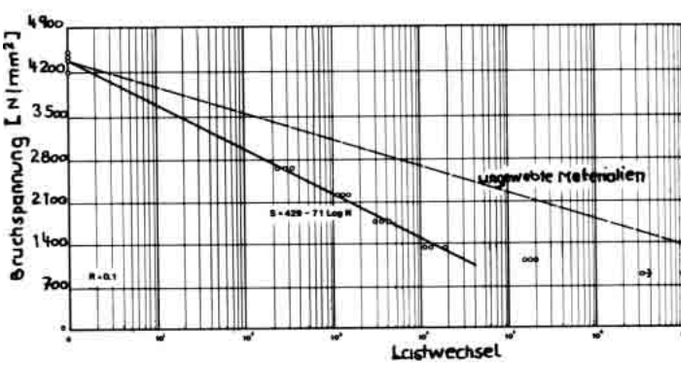


Bild 3 – Spannungs-Lastwechsel-Diagramm für mit gewebten Fasern verstärktes Polyester im Vergleich zur Kurve für ungewebte Fasern.

Lastwechseln ab. Polyesterlaminate begannen dagegen bei einer höheren mittleren statischen Festigkeit, nämlich 453 N/mm². Unter einer Belastung von 84 N/mm² hielten jedoch 18 der Polyester-Probekörper im Durchschnitt lediglich 3,6 Mio. Lastwechseln bis zum Bruch stand, wobei die Werte zwischen 303.000 und 10,1 Mio. Lastwechseln schwankten.

Diese Werte machen deutlich, daß das Harzsystem bei dem Langzeit-Ermüdungsverhalten von Glaskompositlaminaten eine bedeutende Rolle spielt. Berücksichtigt man nur die statische Bruchfestigkeit, sind die Polyesterlaminate 8% stärker als die Epoxidlaminate. Diese Verhältnisse kehren sich jedoch bei höheren Lastwechselzahlen um. Bei 3,5 Mio. Lastwechseln behält das Polyesterlaminat weniger als 19% seiner ursprünglichen Festigkeit.

Das Ermüdungsverhalten von gewebten Fasern ist immer schlechter als das Verhalten von unidirektionalen Fasern, weil zusätzliche Spannungen an den Überlappungen entstehen. Glasfasergewebeverstärktes Polyesterlaminat behielt rund 20% seiner statischen Bruchfestigkeit nach 10 Mio. Lastwechseln. Über glasfaserverstärkte Laminate sind bisher nur wenige Untersuchungen bei Lastwechselzahlen über 10 Mio. durchgeführt worden, so daß man kaum weiß, an welchem Punkt seine Dauerfestigkeitsgrenze erreicht ist. Es gibt keine eindeutigen Beweise für die Theorie, daß es keinen Dauerfestigkeitsgrenzwert bei Glasfaserlaminaten gibt. Genauso ist man sich nicht einig über zulässige Sicherheitsfaktoren für Glaskompositlaminate bei Anwendungen, die besonders viele Lastwechsel ertragen müssen. Ungewebte, unidirektionale Glaslaminate zeigen einen eher linearen Verlauf der Dauerfestigkeitskurve, mit geringeren Matrixablösungen bei wenigen Lastwechseln. Die Dauerfestigkeitskurven für gewebte und ungewebte Laminate konvergieren bei hohen Lastwechselzahlen, wo die Dauerfestigkeit der Glasfaser selber das Verhalten bestimmt.

Dauerfestigkeitsverhalten von WEST SYSTEM Epoxidharz

Viele Untersuchungen haben sich mit unseren WEST SYSTEM Harzen beschäftigt. Zunächst haben wir erkannt, daß unverstärkte Harze sehr schwer zu testen sind. Die Ursache dafür liegt in erster Linie bei dem geringen Elastizitätsmodul: die Probekörper sind ziemlich flexibel und müssen bei geringen Lastwechselraten untersucht werden, um übermäßige Wärmeentstehung im Probekörper zu verhindern.

Drei Untersuchungsverfahren werden verwendet, um unsere Epoxiddauerfestigkeitswerte zu ermitteln: (1) Dauerfestigkeit bei Druckbelastung, wo ein gegossener Epoxidzylinder zwischen zwei Platten wechselnden Druckbelastungen ausgesetzt wird; (2) Probekörper mit eingeklebten Stutzen, wobei eine Gewindestange in Epoxid eingegossen ist und wechselnden Zugbelastungen bis zum Bruch ausgesetzt wird. Schließlich (3) Dauerfestigkeit auf Torsion, wo ein gegossener, langer quadratischer oder rechteckiger Prismenprobekörper an den Enden eingespannt wird und in entgegengesetzten Richtungen verdreht wird, was auf jeden Fall Torsionsschub in der Epoxidmatrix erzeugt.

Die Dauerfestigkeitswerte und die eingezeichneten Trendlinien in Bild 5 sind das Ergebnis von Untersuchungen unter Torsionsbelastungen. Diese Versuchsart repräsentiert die Art von Schubbelastungen, denen Harz in üblichen Laminaten ausgesetzt ist. Wie zu sehen ist, beträgt die Dauerfestig-

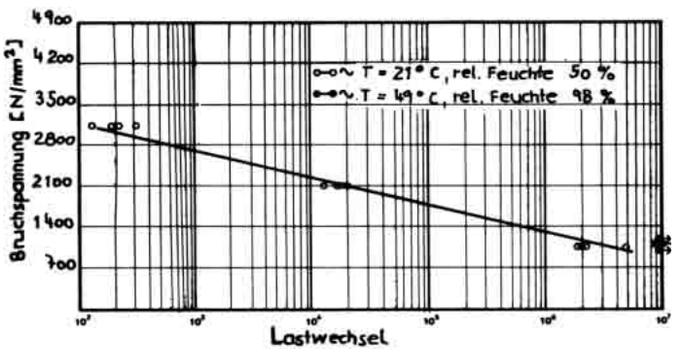


Bild 4 – Basislinie eines Spannungs-Lastwechsel-Dauerfestigkeitsdiagramms von Epoxid-Matrix-Kompositen mit Wickelmuster Z, untersucht mit R=O, 0=1 bis 30 Hertz und verschiedenen notierten Randbedingungen.

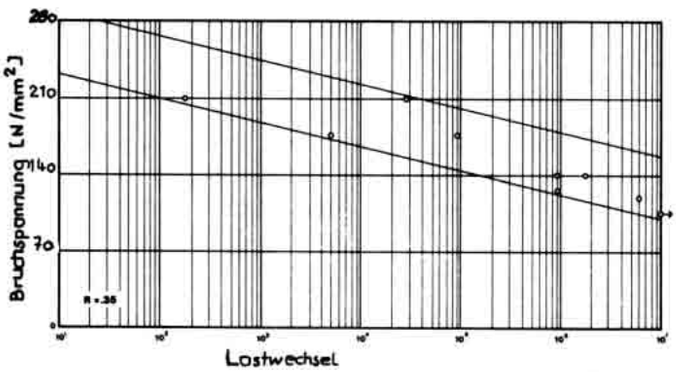


Bild 5 – Torsions-Dauerfestigkeitsversuch von WEST SYSTEM Harz, verstärkt mit RG 144 Asbestfasem. Die Untersuchung wurde vom Advanced Energy Department, General Electric Corp., King of Prussia, PA, im Herbst 1982 durchgeführt.

keit bei 10 Mio. Lastwechseln ohne ständige Verstärkung rund 40% der statischen Materialkennwerte, so daß man vernünftige zulässige Entwurfswerte vertrauensvoll verwenden kann. Das Epoxidharz war in diesem Test mit RG 144 Asbestfasern verstärkt. Inzwischen haben wir das WEST SYSTEM 404 hochdichte und hochfeste Füllmaterial entwickelt. Das Verhalten dieses neuen Füllstoffes übersteigt die Leistungen von Asbestfasern bei weitem.

Anhang C Dimensionierungen von bekannten,

Bootsname	Gesamt-gewicht (in kg)	Ballast (in kg)	Länge (inm)	Rumpf	Deck
GARGOYLE	1.088	386	6,70	9,3 mm gesamt 3 Lagen je 3,1 mm W.R.Cedar Furnier	6,4 mm Okoume Vordeck 9,5 mm Okoume Achterdeck 1 Lage 2,5 mm Teak 25 mm x 28 mm Spruce-Versteifungen auf 50 mm Abständen
ONYMITT	1.360	680	7,90	12,4 mm gesamt 4 Lagen je 3,1 mm W.R.Cedar Furnier	Sandwich-Bauweise 5 mm Sperrholz Verticel-Kern mit Sprucerahmen
ACCOLADE	3.175	1.588	9,20	18,6 mm gesamt 6 Lagen je 3,1 mm W.R.Cedar Furnier	10 mm gesamt 2 Lagen 5 mm Okoume-Sperrholz über Spanten und Stringern
BOOMERANG (ex HOT FLASH)	3.402	1.814	9,80	15,5 mm gesamt 1 Lage Okoume-Sperrholz 4 Lagen je 3,1 mm W.R.Cedar Furnier	10 mm Okoume-Sperrholz über Stringern
ROGUES ROOST	3.402	1.270	10,70	12,4 mm gesamt 4 Lagen je 3,1 mm W.R.Cedar Furnier	10 mm-Sperrholz
SWEETOKOLE	3.628	1.701	11 ,00	12,4 mm gesamt 4 Lagen je 3,1 mm W.R.Cedar Furnier	10 mm-Sperrholz
SYLVAN	4.082	1.860	9,20	21,7 mm gesamt 1 Lage 12,4 mm W.R.Cedar Leisten 3 Lagen je 3,1 mm W.R.Cedar Furnier 1 Lage Polypropylengewebe	19 mm gesamt 1 Lage 9,5 mm Cedar 1 Lage 3,1 mm Cedar 1 Lage 6,4 mm Teak
CHOCOLATE CHIPS	4.264	2.041	10,10	15,5 mm gesamt 1 Lage 3,1 mm Okoume-Sperrholz 4 Lagen W.R.Cedar Furnier	12,4 mm gesamt 9,3 mm Okoume-Sperrholz 3,1 mm Teak
WOODPECKER	4.822	2.835	11,30	16,2 mm gesamt 1 Lage 4,8 mm Okoume-Sperrholz 4 Lagen 3,1 mm W.R.Cedar Furnier	12,8 mm gesamt 2 Lagen 6,4 mm Okoume-Sperrholz
MOODYBLUE	4.990	2.132	11,00	18,9 mm gesamt 1 Lage 12,7 mm W.R.Cedar Leisten 1 Lage 3,1 mm W.R.Cedar Furnier 1 Lage 3,1 mm Afr. Mahagoni Furnier	12,4 mm gesamt 1 Lage 9,3 mm W. R. Cedar 1 Lage 3,1 mm Okoume-Sperrholz
STAR	7.484	3.175	10,10	25,3 mm gesamt 1 Lage 16 mm W.R.Cedar 2 Lagen 3,1 mm W.R.Cedar Furnier 1 Lage 3,1 mm Afr. Mahagoni Furnier	19,2 mm gesamt 2 Lagen 6,4 mm Cedar 1 Lage 6,4 mm Cedar gekrümmt verlegt und geölt
GOLDENDAZY	8.392	4.536	12,80	28,4 mm gesamt 1 Lage 16 mm W.R.Cedar Leisten 4 Lagen 3,1 mm W.R.Cedar Furnier	15,5 mm gesamt 2 Lagen 6,2 mm Okoume-Sperrholz 1 Lage 3,1 mm Teak
BAYBEA	9.072	4.082 im Rumpf, 907 im Schwert	13,70	25,3 mm gesamt 1 Lage 12,7 mm Port Orford Cedar Leisten 2 Lagen 3,1 mm W.R.Cedar Furnier 1 Außenlage 6,4 mm Port Orford Cedar Leisten	19,2 mm gesamt 6,4 mm Okoume-Sperrholz 2 Lagen 6,4 mm Port Orford Cedar
WHITEHAWK	77.112	22.680	28,10	64 mm gesamt 1. u. 2. Lage 16 mm Scheinzypressenleisten 3. u. 4. Lage 8 mm Scheinzypressenleisten 5. Lage 8 mm Mahagoni	44,5 mm gesamt 3 Lagen Cedar 1 Lage Teak

mit WEST SYSTEM Produkten gebauten, Booten

Innenkonstruktion	verwendete Holzarten	Bemerkungen
19 mm x 19 mm Spruce Stringer (8 je Seite), 9,3 mm Schotts, 25 mm Cedar Längsverbände	Western Red Cedar Mahagoni Sitka Spruce Scheinzyypresse Teak	MORC Rennyacht Entwurf: Lasher Performance Designs, Inc. Bau: Bierig/Lasher
Sandwich-Schotts Strukturelle Einrichtung keine Stringer	Western Red Cedar Mahagoni, Esche Sitka Spruce	Sloop Entwurf: Gougeon Brothers, Inc. Bau: Gougeon Brothers, Inc.
lamellierte Bodenwrangen Schotts keine Stringer	Western Red Cedar Mahagoni, Esche Sitka Spruce	IOR-Halbtonner Entwurf: Bruce Kirby Bau: Gougeon Brothers, Inc.
38 mm x 15,5 mm Sitka Spruce Stringer, lamellierte Bodenwrangen Schotts	Western Red Cedar Mahagoni, Esche Sitka Spruce	IOR-Halbtonner Entwurf: Gary Mull Bau: Gougeon Brothers, Inc.
38 mm x 19 mm Mahagoni Stringer (9 je Seite) Schotts	Western Red Cedar Mahagoni, Esche Sitka Spruce	IOR-Eintonner Entwurf: William Cook Bau: Eric Goetz
38 mm x 29 mm Sitka Spruce Stringer (8 je Seite) Schotts, Bodenwrangen	Western Red Cedar Sitka Spruce Mahagoni	IOR-Eintonner Entwurf: Bruce Farr Bau: Louis Wake & Foo Lim
lamellierte Bodenwrangen einige lamellierte Spanten Sperrholz-Schotts	Western Red Cedar Honduras Mahagoni Sitka Spruce Teak	Spitzgatt-Kutter Entwurf: Henry Scheel Bau: Van Dam Wood Craft
32 mm x 19 mm Sitka Spruce Stringer (9 je Seite) Schotts	Western Red Cedar Mahagoni, Esche Sitka Spruce	IOR-3/4 Tonner Entwurf: Graham & Schlageter Bau: Eric Goetz
38 mm x 19 mm Sitka Spruce Stringer, Schotts Bodenwrangen	Western Red Cedar Mahagoni, Esche Sitka Spruce	IOR-Eintonner Entwurf: Doug Peterson Bau: Eric Goetz
lamellierte Bodenwrangen und Spanten, Schotts mit strukturellen Vorleimern, strukturelle Einrichtung	Western Red Cedar Honduras Mahagoni Esche Sitka Spruce Afrikanisches Mahagoni	IOR-Eintonner Entwurf: Nelson/Merek Bau: Van Dam Wood Craft
lamellierte Bodenwrangen und Spanten Sperrholz-Schotts	Western Red Cedar Afrikanisches Mahagoni Sitka Spruce Red Oak Sperrholz	Fahrten-Kutter (komplett naturlackiert) Entwurf: Fred Ford Bau: Van Dam Wood Craft
Sandwich-Schotts keine Stringer lamellierte Bodenwrangen	Western Red Cedar Mahagoni, Esche Sitka Spruce	IOR-Zweitonner Canada‘s Cup, 1975 Entwurf: Ron Holland Bau: Gougeon Brothers, Inc.
64 mm x 32 mm Sitka Spruce Stringer (wenige), Schotts Bodenwrangen	Western Red Cedar Port Orford Cedar Mahagoni, Esche Sitka Spruce	IOR-Zweitonner Entwurf: Britt Chance Bau: Palmer Johnson
Schotts strukturelle Einrichtung Bodenwrangen, Spanten	Scheinzypresse Fichte, Eiche, Esche Spruce, Mahagoni seltene Hölzer	Luxus-Renn-Ketch Entwurf: Bruce King Bau: Lee‘s Boat Shop

Anhang D

Schlagversuche an verstärkten Laminaten

Im Jahre 1985 führten wir in unserem Labor eine Reihe von Schlagversuchen durch. Zunächst haben wir die relative Effektivität von Glasfasergewebelagen als Schutz von Holz gegen Steine und schwimmenden Unrat untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind für Leisten-Komposit- und Streifenbauweise interessant, weshalb wir sie in Kapitel 20 untergebracht haben. In der zweiten Versuchsserie haben wir die Auswirkungen von zusätzlichen Lagen Glasfaser- und Kevlar®-Gewebe auf einen Holzrumpf untersucht. Hier waren wir besonders daran interessiert herauszufinden, an welchen Stellen im Laminat die synthetischen Fasern die Schlagfestigkeit beeinflussen.

Bevor wir unsere zweite Untersuchung erklären, sollten wir vielleicht noch darauf hinweisen, daß einige der Kombinationen der in diesem Experiment verwendeten Gewebe relativ exotisch und sehr teuer sind. Wir haben versucht, die beste Anordnung von Kevlar und Glasfasern für ein Boot zu ermitteln, das in einem Einhand-Round-The-World-Race gesegelt werden soll und daher besonders stabil und kollisionsfest sein muß. Bei den meisten Konstruktionen und im üblichen Gebrauch sind die zusätzlichen Kosten für diese Verstärkung nicht gerechtfertigt. Unser Versuch benutzte sowohl gewebte als auch geknüpfte Gewebe, die Effekte der Faseranordnung und -orientierung waren jedoch unerheblich.

Wir haben die Schlagfestigkeit von vier Probekörpern untersucht. (Siehe Bild 1.) Die vier Platten, jeweils ca. 375 mm x 300 mm x 18,8 mm groß wurden aus vier Lagen 4,8 mm-Cedar und WEST SYSTEM Epoxidharz laminiert. Alle Probekörper wiesen eine äußere Beschichtung mit E-Glas-Gewebe auf, um Holzrümpfe mit einer äußeren Beschichtung zu simulieren. Bei zwei Platten wurden synthetische Fasern zwischen der innersten und der zweiten Furnierlage einlaminiert. Aufgrund der praktischen Probleme beim Beischleifen von Kevlar wurden die Außenlagen dieses Gewebes mit Glasfasergewebe abgedeckt. Das Plattengewicht variierte entsprechend der Zusammenstellung.

Die Probekörper waren in der Testmaschine auf vier Kanten abgestützt. Es wurde ein 31,75 kg schweres, 38 mm, Stülpnasen-förmiges Stahlprojektil aus 125 mm, 187,5 mm und 312,5 mm Höhe auf jede Platte fallen gelassen, was jeweils der Arbeit von 38,9 J, 58,4 J und 97,3 J entsprach. Alle Platten hatten nach dem ersten Fallversuch flache Dellen von 25 mm Durchmesser in ihrer Oberseite.

Als das Projektil aus größeren Höhen fallen gelassen wurde, wurden deutliche Unterschiede in der Beschädigung der Innenseiten erkennbar. Die Probekörper, welche die Verstärkungsfasern zwischen den Innenlagen hatten, rissen viel weniger als die Platten, die nur auf ihrer Außenseite Gewebe aufwiesen. Nach dem letzten Fallversuch wies die Platte 1, die eine innere und eine äußere Lage Aramid und eine äußere Lage Glasgewebe hatte, an der Innenseite lediglich untergeordnete Risse auf. Sie lagen innerhalb eines kreisförmigen Bereichs von 62,5 mm, die wohl auf vernachlässigbare Festigkeitsverluste deuten. Platte 2, die E-Glas innen und außen und Kevlar auf der Außenseite hatte, zeigte mittlere Risse in einem Bereich von 125 mm Durchmesser. Das könnte gemäßigte Festigkeitseinbußen verursachen. Die Platten 3 und 4, die keine inneren Lagen synthetischer Fasern besaßen, zeigten ausgedehte Risse an ihren Innenseiten. Das könnte zu gravierenden Festigkeitseinbußen führen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung können nur zur Einordnung der verschiedenen untersuchten Holz-Komposit-Laminate entsprechend ihrer Schlagfestigkeit benutzt werden. Sie können nicht zu Vorhersagen über den erfolgreichen Einsatz im Rumpf benutzt werden. Es ist aber möglich, einige weitgefaßte Schlüsse aus ihnen zu ziehen.

Obwohl das Zufügen von Faserverstärkungen an der Außenseite eines Rumpfes die Festigkeit erhöhen kann, ist es manchmal wünschenswert, Gewebelagen in der Nähe der Innenseite einzulaminieren. Platten, bei denen synthetische Fasern in der Nähe ihrer Rückseiten angeordnet waren, hatten eine entscheidend größere Schlagfestigkeit als Platten, die nur außen Verstärkungsfasern besaßen. Zusätzliche Gewebelagen erhöhen Gewicht und Kosten eines Bootes, sind jedoch manchmal aufgrund der vergrößerten Sicherheiten, die die Gewebe bieten, gerechtfertigt.

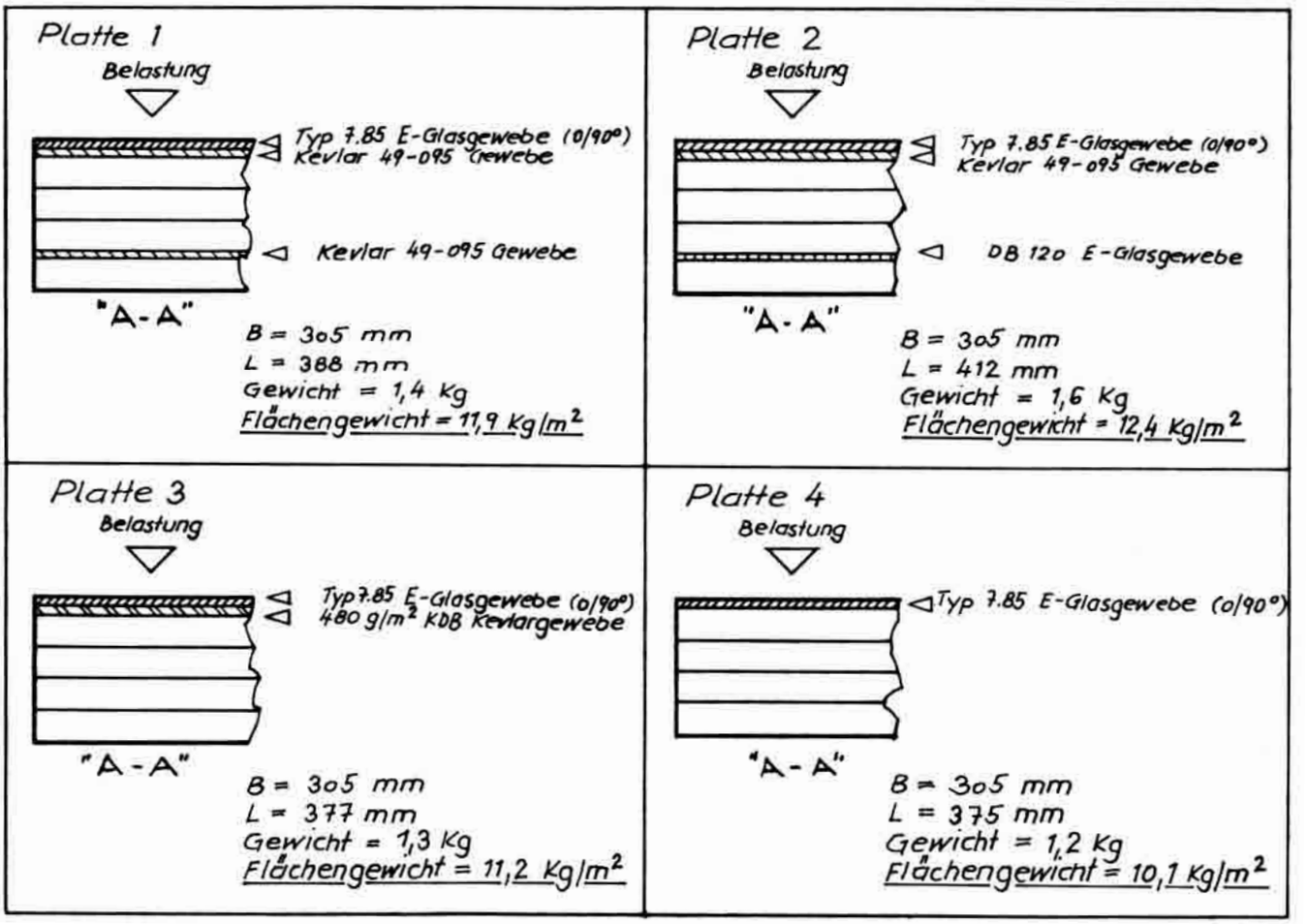


Bild 1 – Probekörper, die aus synthetischen Fasern, Western Red Cedar und WEST SYSTEM Epoxidharz hergestellt sind. Der Pfeil zeigt jeweils die Wirkrichtung der Schlagbelastung an.

Nach Beendigung der Untersuchung ist uns aufgefallen, daß wir nicht ausprobiert haben, welches die beste Kombination der Gewebe ist. Wenn das Kevlar mit einer inneren Lage des Laminats verbunden wäre , wo es unter Zug stünde, könnte es sehr sinnvoll eingesetzt werden. Die Probleme mit dem Schlichten wären zum größten Teil überwunden, wenn das Aramid, sagen wir, zwischen den ersten bei den Lagen eines Holzrumpfes eingesetzt würde, aber die Faser könnte weiterhin verstärkte Schlagfestigkeit bieten. Der Rumpf könnte dann mit einer äußeren Glasfaserbeschichtung zur weiteren Verbesserung der Schlagfestigkeit versehen werden.

Index

Abfall 90
Abmessungen 42
Abnehmbare geklebte Kiele 312
Abrieb 104
Abriebfestigkeit 107
Absaugung 59
Abschätzung der Arbeitszeit 14
Abstandhalter 26
Abtropfen 51
Aceton 64
Additiv 48, 51
Äste 31, 43
Alkaloide 65
allgemeines Straken 191
Aluminium 33, 302
Aluminiumhydroxidpulver 51
Aluminiumpulver 51
Amino-Silan-Schlichte 105
Anbringen der zweiten Lage 185
Anlegekante 114
Anmischen 56
Anpaß-Werkzeug 188
Anpassen 140
Anpreßdruck 76, 85
Anpreßdruck der Schraubzwingen 71
Anpressen der Sperrholzschäftung 89
Anpressen von Schäftungen 84
Anschäften mit der Hand 82
Anschlagklötze 115
Anstriche 92
Antikörper 62
Aramidfaser 33, 104
Arbeit 10
Arbeitsbereiche 24
Arbeitszeit 14
Asbest 66
Aufbauten 288
Aufbauten mit Leisten-Verbund-Bauweise 288
Auffütterung für Beschläge 286
Aufkimmung 234
Aufmaßtabelle 113, 118
Aufschnüren 112, 115
Aufstellen der Rahmen 145, 146
Auftragen von Farben und Lacken 101
Auftragen von WEST SYSTEM Epoxidharz 183, 197
Auftragsmenge 96
Augenschutz 62
Aushärtung 53
Aushärtungszeit 55
Ausklinkungen 154
Ausrollgefäß 54
Ausrollwanne 94
Ausrüstung 10
Ausschläge 65
Ausstraken 150
Ausstraken der Längslinien 121
Ausstraken der Seite Deck 276
Bakterien 40
Balkenbiege-Versuch 33
Balkweger 160
Balsaholz 73
Bandsäge 20
Bandschleifmaschine 21
Bankkredit 4
Basis 115
Bastelraum 24
Bastschicht 34
Bauablauf 13
Bauelemente 68
Baumaterialien 47
Baumwollfaserabschnitte 50
Bauplan 12
Bauschritte 9
Bauspanten 124, 131
Bauteilabmessungen 8
Beanspruchungen 2
Befestigung der Kanten 198
Befestigungselemente 49
Befestigungselemente mit großem Durchmesser 296
Belastungen 29, 49
Belastungsfähigkeit 52
Belastungsmöglichkeiten des Flügelblattes 49
beplankter Block 168
Beschichtung 40, 92
Beschichtungsarbeiten 94
bewuchshemmende Eigenschaften 51
Bezugsquellen 4
Biegung 36
Block-Methode 70, 168, 174
Block 164 Blockhobel21 Bohlen 41
Bootsbauhölzer 41, 42
Bootsschale als Kastenträger 29
Bootsschuppen 23
Bootswerkstatt 23
Brandgefahr 63, 66
Brennstofftanks 269
Bretter 41
Brettschnitt 35, 43
brilliante Oberfläche 50
Bronchialbeschwerden 65
Bronzelegierungen 303
Bruch 314
Bruchfestigkeit (statische Biegung) 314
Bruchfestigkeit 49
Bruchspannung 37
Bruchversuch 75
Buchse aus Epoxidharz 295

C-Zwingen 71
chemische Reaktion 55
Chronische Reizungen 59
Cockpits 281
CWL 122
Dachfirst 26
Dämpfen 68
Dampfsperre 48, 49
Dauer-Wechselbelastung 47
Dauerfestigkeit 49, 319
Dauerfestigkeitsverhalten von Glasfasern 320
Dauerfestigkeitsverhalten von Holz 320
Dauerfestigkeitsverhalten von WEST SYSTEM Epoxidharz 321
Decks-Längsträger-Konzept 278
Decks-Versteifungen 278
Decks 275
Decksbalkenbucht 277
Decksbeschläge 14
Decksbucht 127, 277
Deckseinspannvorrichtung 240, 253
Detailzeichnungen 7
Dickflüssigkeit 57
Dicktenhobel 23
Dimensionierung 8
dimensions stabil 48
Doppelungen 140
Dosierpumpen 53
Draht 115
Druck 36
Druckfestigkeit 31, 73
Druckluftwerkzeuge 17
Druck parallel zur Faser 314
Druck senkrecht zur Faser 314
dunkle Spachtelmassen 51
Durchdringung 125
Dynel l05

E-Modul 106
Eigenbau 5
Einbau in der Helling 258
Eingießen von Beschlägen 305
Einkapseln 40
Einrichtung 15
Einzelentwurf 7
Eisboxen 267
Elastizitätsmodul 314
Elektrische Handkreissäge 20
Elektrische Polierscheibe 20
elektrische Systeme 270
Elektroinstallation 24
Elektronische Stichsäge 19
Empfindlichkeit 58
Endanstrich 51
Endbehandlung 271
Endlackierung 52
Entfernen von geklebten Befestigungselementen 301
Entfernen von geklebten Beschlägen 306
Entflammbarkeit von Lösungsmitteln 59
Entwürfe 8 Entwurfsrichtlinien zum Bau von Modellen 248
Epoxid-Auftrag 93

Epoxid/Graphit-Komposite 52
Epoxid 47, 56
Epoxidabfall 59
Epoxidharz 37, 38, 47, 57, 58
Epoxidmischung 57
Epoxidstaub 63
Ermüdung 28, 37, 48
Ermüdungsfestigkeit 31
Ermüdungsverhalten 30, 49
Ermüdungsversuche für Zug, Druck und Wechselbelastung 32
Erstauftrag 96
Esche 33
exotherme Reaktion 54
exotherme Restreaktion 57
Experimentieren 47
Explosion 64

Familienboote 13
Farbauftrag 103
Farben 64, 99
Faserbündel 30
Faserneigung 43
Faserrichtung 43
Fasersättigungspunkt 35
Faserverlauf 37
Federklemmen 146
Fehlstellen 43, 46
Feinspachtel 99
Fenster und Luken 269
Fertigstellung des Bootes 16
Festigkeit 28, 30, 48
Festigkeitswerte in Faserrichtung 31
Feuchte 93
Feuchtegehalt 28
Feuchtigkeit 55
Feuchtigkeitsaustausch 48
Feuchtigkeitsgehalt des Holzes 41
Feuchtigkeitssperre 48
Feuerbeständigkeit 51
Feuerlöscher 62
Fieber 65
Finger-Verbindung 1
Firstbrett 26
Flächengewichte 52
Flammpunkt 64
Flexibilität 38, 47
FLOCOAT-Verfahren 97
FLOCOATING 92
Flossenkiel 159
Flugzeuge 2
Folie 89
Formen für das Lamellieren 70
Formen zum Lamellieren 154
Formulierung 56
Fräsen 22
Fräsermethode 83
frühes Holz 34, 35
Fügen 180
Füllfügesysteme 217
Füllstoff 50
Füllstücke 43
fugenfüllender Kleber 48
Fundament 142
Furnier 31, 39, 44, 174
Furnierlamellierungen 200
Fußblöcke 144
Fußboden 27
„Fußboden“-Methode 70

Garage 24
geklebte Kielbolzen 307
Geld 4
Gerbsäure 65
geschlossener Block 168
gestringerter Block 168
Gewebestreifen 52
GL-Abnahmestempel 46
Glas 32
Glasfaser-Komposite 106
Glasfasergewebe 34
Glasfasern 104
Glasgewebe 52
Glasgewebestreifen 52
Glasseidengewebe 105
Gleichgewichtszustand 35
Grad der Giftigkeit 61
Graphit 105
Graphitfaser 33
Graphitpulver 51
Graues Pigment 52
großflächige Beschichtungen 54
Grundanstrich 92
Grundfertigkeiten 68
Grundfläche 24
Gütebedingungen für Bauschnittholz 42

Haarrisse 52
Härter 48, 93
Härtungsdauer 93
Haftfähigkeit 53, 93
Halbbögen 26
Hallengerüst 26
Handmaschinen 17
Handschäftung 87
Handschuhe 59
Handwerkszeuge 17
Hartfaserplatten 27
Hartholz 34, 42
Hartschaum 73
Harz/Härter-Gemisch 12
Harz 48, 56, 65
Harzbeschichtung 40
Harzgallen 43
Harznester 43
Harzüberzüge 92
Hauptfurnier 180
Hauptleiste 171
Hauptspant 118
Hautallergien 58
Hautausschlag 59, 62
Hautkontakt 59, 62
Hautreiniger 63
Hautreizstoffe 58
Hautreizungen 58
Hautrötungen 63
Heftklammern 86
Heißluftpistole 23
Heißverleimung 163
Heizsystem 24
Heizung 25
Helling 142, 143
Helling für die Leistenbauweise 194
Herzanfälle 65
Herzrhythmusstörungen 65
Hilfsansicht 127
Hinterschiff 118
Hirnholz 84
Hobelmaschine 21
Hobelmesser 87
hoch dichte Füller 72
Hochleistungswinkelschleifer 21
hohe Festigkeit 47
Hohlkehlen 272
Hohlräume 96
Holz, fest, steif, dimensionsstabil 41
Holz/WEST SYSTEM Epoxidkomposite 28
Holz 28, 42, 47
Holz als Baumaterial 34
Holz als Verstärkungsmaterial 2
Holzbestellung 41
Holzdichte 95
Holzfeuchte 39, 42
Holzhändler 41
Holzoberfläche 56, 100
Holzqualität 43
Holzsaft 60
Holzschwamm 40
Holzstaub 59, 64
Holzwerte 314
Husten 65

I-Träger-Decksbalken-System 246
I-Träger-Spanten 212
ideeller Steven 121
Importiertes Sperrholz 45
Importplatten 45
„Indienststellen“ 15
Innenausbau 257
Innenausrüstung 13
Inneneinrichtung zur Verstärkung der Rumpfkonstruktion 257
Innenflächen 12, 52
Innenlagen 46
Innensteven 130
innerer Steven 169
Instrumente 14
interlaminarer Schub 49
Isocyanat 100
Isoliermatten 56

Jahresringe 34, 36, 43

Kajütboden 265
Kaltverleimen 163
Kapillaren 34
Keller 24
Kern 164
Kernholz 35
Kernmaterial 34, 73, 76
Kevlar 104
Kiel/Steven-Einheit 155
Kiel 14, 113, 151
Kielbolzen-Schablone 309

Kielschwein 158
Kielsprung 234
Kimmweger 224
Klammern 177
Klammerpistole 22
Klarlackbeschichtung 100
Klarlacke 101
Klebemischung 57
Kleben 68
Kleben von Befestigungselementen 298
Kleben von Beschlägen 294
Kleben von kleinen Befestigungselementen 294
Kleber 48
Klebeverbindungen 50
Kohlendioxyd 56
Kohlendioxydemissionen 24
Kohlenstoff 32
Kohlenstoffasern 104
Komposit -Kielverbindung 238
Komposite 37
Kompositwerkstoff 37, 104
Kondensation 98
Konsistenz 51
Konstrukteur 9
Konstruktionsspanten 131
Konstruktionsunterlagen 13
Konstruktionswasserlinie (CWL) 114, 121
Kontrolldraht 139
Konzentration 64
Kosten der Beschläge 10, 13
Kosten der Schale 10
Kosten für Rumpf, Deck, Aufbau 10
Kreidestock 191
Kristalle 56
Krummhölzer 68
Kunststoffrolle 94
Kurzfasern 50

Lack 48,64, 99, 101
Lackierverfahren 92
Lacksysteme 98
Lacküberzug 100
Längsbelastungen 34
Längsfestigkeit 29
Längsspantbauweise 165, 206
Lagerbestände 41
Lamellen 68
Lamellieren 68
Lamelliermethoden 164
lamellierte Bauteile 70
Lamellierte Decksbalken 281
lamellierter Kiel 152
Lamelliertes Holz 32
lamellierte Stringer 37
Landtransport 7
Lastaufnahmevermögen 37
Lastwechsel 30
Latte 120
Lattenblock 168
Lattenhalter 133
Lebensdauer 30, 38
Leime 46
Leimen 68
Leisten-Kompositbauweise 194, 202
Leistenbauweise 165, 194
Leistenkanus 202
Lignin 35
Lineare Polyurethanlacke 100
Linienriß 113
Lösungsmittel 59 , 63 , 93
Lösungsmitteldämpfe 59
Lösungsmittelgehalt der Atemluft 64
Lot 145
LP-Lacke 100
Lüftung 59, 63
Luftfeuchtigkeit 28, 35, 55
Luftisolierung 27
Lunker 46

Mallkanten 135
Mallseite 72
Mallspant 124, 131, 132
Mansonia 65
Markholz 43
Markierungen der Platten 46
Markierungslehre 209
Markierungsmittel 52
Markstrahlen 34
Maschinenräume 51
Maschinenwerkzeuge 17
Maßband 114, 117
Masten 204
Materialermüdung 29
Materialkosten 9
Materialliste 10
Materialversagen 2
mechanische Eigenschaften 36, 48
Mechanisches Anpassen 187
Messerfurniere 35, 44
Meßlatte 115, 117, 120
Methylenchlorid 64
Mikrokugeln 51
Mindestgröße des Schuppens 25
Minipumpen 53
Mischbecher 53,63
Mischen 53
Mischung 54
Montage des Blocks 168

Nacharbeiten der Schäftungen 86
Nachputzen der Kehle 79
„Nagelmethode“ 133
Nagler, druckluftbetrieben 22
nasse Methode 108
natürliche Bauform 70
Naturfasern 105
Naturlackierung 100
Netz 113
„Netz“ 115
neutrale Faser 34
Nüstergatten 154
Nutzungsdauer 6
Nylongewebe 27

Oberflächen 98
Oberflächenbearbeitung 42
Oberflächenvorbereitung 53, 107
Oberfräse 23, 84
örtliches Straken 191
ofengetrocknete Hölzer 42
offene Zeit 54
„offene Zeit“ 50
optimale Klebstoffmenge 184

Pantry 51
Passung 84
Pasten 52
PE-Folie 26
Pflöcke 142
Pigmente 52
Pilzbefall 39
Plankenstärke 124, 127
Plankenstärke am Steven 130
Planungsänderungen 5
Plastikhandschuhe 58, 62
Plaüenkreissäge 20
Polyäthylenfolie 25
Polyester 105
Polypropylen 105
Polystyrolbecher 54
Positivmodell 164
Primer 98
Probeanstrich 99
Produktivität 17
Proportionalitätsgrenze 314
provisorischer Schuppen 24
Prüfkörper 33, 75
Punktbelastung 48, 160

Quarzmehl 51, 110
Querfestigkeit 35
Querriegel 136
Quervernetzung der Moleküle 55

Radialarm-Trennsäge 20
Rahmen 137, 138
Rahmenspanten 206
Reaktion 54
Redwood 65
Regatten 7
Reinigen 64, 98
Reizstoffe 62
Reizungen 59
Rennboot 9
Rennyachten 13
Reparaturen 50
Richtscheit 89 , 114
Richtwerte für die Kosten 4
Riegel 136
Rigg 14
Rißbildung 48
Rohleitungssysteme 270
Rohling 152
Rollen-oder Pinselauftrag 49
Rolltechniken 185
Rückstellvermögen 68
Rumpfgewicht 30
Rumpfkosten 9

Sägen 19
Sägewerk 41
Sandwich-Bauteile 73
Sandwich-Decks 284
Sandwichlaminate 77

Satinholz 65
SCARFFER 87
Schablone 132, 263
Schädlingsbefall 39
Schäften 82
Schäften am Boot 90
Schäften von Massivholz 82
Schäften von Sperrholzplatten 86
Schäftung 151, 153, 155
Schäftung auf dem Rumpf 226
Schäftungen von Hand 87
Schäftungsansatz 87
Schäftungslade 84
Schäftungsverfahren 82
Schäftungsvorrichtung 83
Schäftvorrichtung 19
Schälfurnier 35, 44
Schätzungen 9
Schaumkerne 74
Schaumrolle 96
Schlagbeanspruchung 73, 104, 105
Schlagbiegung 314
Schlagversuche an verstärkten Laminaten 326
Schlagzähigkeit 105, 107
Schleifarbeiten 62
Schleifbock 23
Schleifen 98
Schlichthobelmaschine 23
Schlußanstrich 92
Schmiege 129, 149, 158
Schmiegenbrett 114
Schmiegenlehre 128
Schmiegenplatte 128
Schmiegenstock 114
Schnitte 113, 117
Schnittholzpreise 28
Schnürbodenarbeit 112
Schnürbodenplatte 114, 116
Schotte 131, 264
Schubbelastungen und Befestigungselemente 297
Schubfestigkeit 73
Schub parallel zur Faser 314
Schüttelfrost 65
Schuppen 24, 26
Schutzanzug 63
Schutzausrüstung 59
Schutzbrillen 59
Schutzcreme 62
Schutzmaske 59
Schweiß 65
Schwertkasten 159
Schwingschleifer 21
Seite Deck 113, 118, 138, 234
Seitenriß 113
Seitliche Härte 314
Sekundäreigenschaften 32
Selbstbau 5
Senten 113, 122
Serienfertigung 5
Sicherheitsaspekte 58
Sicherheitsgläser 59
Sicherheitsregeln 61
Sitka Spruce 33, 34
Spachtelkehle 48, 51, 68, 77, 79, 147
Spachtelmasse 80, 99
Spachtelmischung 51
spätes Holz 34, 35
Spannungen 38, 68
Spanten 37,113,116
Spanten für die Längsspantbauweise 206
Spantenriß 113, 118, 120
Spantpositionen 116
Spenderpumpe 23
Sperrholz-Knickspant-Bauweise 221
Sperrholz-Knickspant-Bauweise -Helling 223
Sperrholz-Verformungs-Bauweise 233
Sperrholz 35,44,45
Sperrholzplatten 45
Sperrholzschäftungen 88
Sperrholzstreifen 89
Sperrholz zum Lamellieren 215
spezielle Werkzeuge 19
Spiegel 124, 125
Spiegelkontur 124
Splintholz 34, 35
Sponung 152
Sponungslinie 118
Spritzen 99
Sprühnebel 95
Stabilisierung 28
Ständerbohrmaschine 23
Stahl 302
Stahlbandmaß 116
Standard-Entwurf 7
Standardharz 57
Stangenzirkel 114
Staubkonzentrationen 65
Staubmaske 59
stehende Jahresringe 43
Steifigkeit 28, 30, 33, 52, 73
Steven 113, 151
Strakgewichte 114, 120
Straklatte 114, 158
Streß 61
Stringer für die Längsspantbauweise 207
strukturelle Zierleisten 264
Stützen 138
stumpfe Stöße 77
syntethische Fasern 104

Tacker 22
Tangentialschnitt 44
Tanks 268
Teak-Decks mit Furnierstreifen 290
Teakdeckverlegen 52
Temperaturbereich 49
Temperaturerhöhung 56
Terpentin 64
Tidengebiete 6
Tischkreissäge 20
Topfzeit 50, 55
Torsionssteifigkeit 29
Toxische Chemikalien 61
toxische Stoffe 65
toxische Wirkung 58
Tracheiden 34
Trägerkonstruktion 26
Tränenbildung 50
Tränkfähigkeit des Harzes 52
trockene Methode 108
Trockenfäule 28, 39
Trockenkammer 39, 69
Trockenlauf 71
tropische Holzsorten 36

Übelkeit 59
Überlappung 109
Umarbeiten von Bauplänen 8
Umgebungstemperaturen 55
Unidirektionales Glasgewebe 33
Unidirektionalgewebe 105
Unterflügel-Platte 240
Unterhaltskosten 4, 48
UV-beständige Klarlacke 49
UV-Schutzschicht 52
UV-Stabilisatoren 101

Vakuumsack-Methode 172
Verarbeitungshinweise 49
Verarbeitungsmethoden 47
Verbindung der geschäfteten Enden 84
Verbindungsstelle 82
Verbrauch von West-System Produkten 185
Verdiegeln 92
Verdunstungsgrad 64
Verfahrensschritte 68
Verformen von Sperrholzplatten 234
Verformung 36, 69
Verklammerung 69
Verkleben der Sperrholzschäftung 88
Verkleben von Ballastkielen 307
Verkleben von Rumpfdurchführungen 313
Verklebung 82
Verleimung (A W 100) 46
Verlust 9
Versandhandel 43
Versandkosten 41
Verschnitt 9
Verschwertung 132, 148
Verunreinigungen 98
Vielseitigkeit 48
Viskosität 49, 57, 94
Volan-Schlichte 105
Vorbehandlung 92
Vorbereitung von Metalloberflächen zum Kleben 302 V
orbeschichten 140
Vorrattanks 268
Vorschiff 118
Vorsichtsmaßnahmen 58

Waage 53
Wabenkerne 73, 75
Wachspapier 89
Wärmelampen 56
Wärmepistolen 56
Wärmequelle 27
Wagenschottschnitt 35, 43
Warmluftpistolen 56
Wasserdampf 56
Wasserlinien 113, 117
Wasserlinienriß 113

Wasserwaage 145
Wechselbelastungen 47
Weichhölzer 42
Weichholz 34
Weißes Pigment 52
Werkstatt 17
Werkzeugausrüstung 19
Werkzeuge 17
Western Red Cedar 33
WEST-SYSTEM Nr. 860 Aluminium-Ätzmittel 302
WEST SYSTEM 105 Harz 49
WEST SYSTEM 205 Schneller Härter 49
WEST SYSTEM 206 Langsamer Härter 50
WEST SYSTEM 301 Mini-Dosierpumpe 53
WEST SYSTEM 306 Spenderpumpe Typ A 53
WEST SYSTEM 309 Zahnradpumpe 53
WEST SYSTEM 403 Hochdichte Kurzfasern 50
WEST SYSTEM 404 Hochdichter/ Hochfester Füllstoff 50
WEST SYSTEM 405 Spachtelmischung 51
WEST SYSTEM 406 Quarzmehl (Colloidal Silica) 51
WEST SYSTEM 407 Niedrigdichte Mikrokugeln (Microballoons) 51
WEST SYSTEM 409 Niedrigdichte Mikrokugeln (Microspheres) 51
WEST SYSTEM 420 Aluminiumpulver 51
WEST SYSTEM 421 Feuerhemmender Füllstoff 51
WEST SYSTEM 423 Graphitpulver 51
WEST SYSTEM 501 Weißes Pigment 52
WEST SYSTEM 503 Graues Pigment 52
WEST SYSTEM 701 Graphitfasern 52
WEST SYSTEM 731-733 Glasgewebestreifen 52
WEST SYSTEM 740–744 Glasgewebe
WEST SYSTEM Dosierpumpen 53
WEST SYSTEM Epoxid 49
WEST SYSTEM Glasgewebe und Verstärkungsfasern 52
WEST SYSTEM Materialien 48
WEST SYSTEM Pigmente 52
WEST SYSTEM Zuschlagstoffe 50
Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtigkeit 48
Windturbinen-Flügel 1, 47
Winkel 114
Winkelschleifer 21
Witterungsbedingungen 49
Wuchsfehler 31

Xylol 64

Yachtkonstrukteur 7

Zeit 9
Zeitaufwand 4
Zellulose 35
Zellwände 34, 35
entrales Nervensystem 65
zentrale Verbindungsplanke 197
Zentrierdraht 143, 146
Zugfestigkeit 31, 105
Zug senkrecht zur Faser 314
Zupassen der Platten 226
Zusammenstellen der Holzliste 42
Zuschlagstoffe 47
Zwischenanstrich 52
Zwischenschicht 48
Zwischenschliff 103
Zwischenträger für Lasten 48